

一种基于模糊逻辑的预判决辅助垂直切换算法

刘 侠, 蒋铃鸽, 何 晨

(上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘 要: 针对全 IP 核心网络的不同无线接入技术, 提出一种基于预判决模糊逻辑的垂直切换算法. 引入预判决方法有效减少不必要的数量和数据量, 采用前向差分预测能够较准确地预测出下一时刻的信号强度, 提高了切换触发速度和切换判决精度. 采用模糊逻辑的方法, 以接收信号强度、预测信号强度及可用带宽作为网络参量设计模糊逻辑控制器, 进而采用归一量化的方法改进模糊逻辑系统, 得到网络的综合性能值进行垂直切换判决. 仿真分析表明, 本文提出的算法能够较准确地做出切换判决, 有效消除乒乓效应, 提高系统性能.

关键词: 垂直切换; 模糊逻辑; 预判决; 前向差分预测

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2007)10-1989-05

A Novel Vertical Handoff Algorithm Based on Fuzzy Logic in Aid of Pre-decision Method

LIU Xia, JIANG Ling ge, HE Chen

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Proposing a novel handoff algorithm based on fuzzy logic and pre-decision method, which can adapt to the dynamic network condition and reduce the system load, is applied to the All IP heterogeneous network for vertical handoffs. And it is combined with the forward difference prediction for the signal strength of next time to improve the handoff accuracy. The results of simulations indicate that the proposed algorithm can make accurate handoff decision and eliminate the ping pong effect in the process of vertical handoffs.

Key words: vertical handoff; fuzzy logic; pre-decision; forward difference prediction

1 引言

在下一代无线网络中, 采用不同技术的接入网络连接在全 IP 核心网已经成为无线通信技术的发展趋势. 由于单一的通信网络不能同时满足低延时、高带宽、广数据服务范围的服务给大量的移动用户, 因此需要采用多层覆盖的全 IP 异构网络^[1]. 例如, 无线局域网 (WLAN) 具有宽带、高速和易铺设等特点, 适合在人员流动性大的公共场所, 如机场、车站、饭店等. 但是由于 WLAN 覆盖范围有限, 移动用户在 WLAN 无法服务的地方, 需要接入覆盖范围广的蜂窝网络, 如通用移动通信系统 (UMTS), 此时要求提供异构网络之间的无缝切换, 以保证业务传输的连续. 当用户在 UMTS 和 WLAN 构成的异构网络中进行移动通信时 (如图 1 所示), 在 UMTS 的 BS 与 WLAN 的 AP 之间就会发生异构网络间的垂直切换^[2] (VHO).

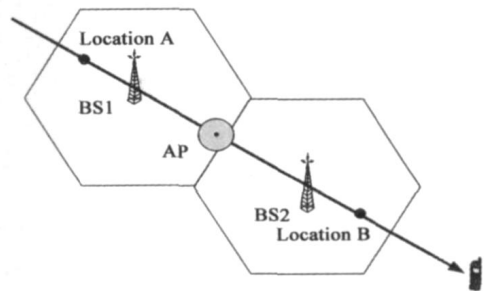


图 1 移动台在异构网络中运动示意图

切换管理是保证服务质量的重要机制, 不但要保证移动终端 (MT) 在蜂窝网络内的漫游, 还要保证其在不同网络系统间的无缝切换^[3]. 合适的切换判决算法对切换管理至关重要, 以保证通信的不中断和用户更高的需求. 由于现有的切换机制大多是基于同构蜂窝网络的水平切换, 不能满足异构系统的垂直切换 QoS 要求. 而模糊逻辑方法^[4] 能够适应无线网络的动态条件和垂直切

换的复杂性. 文献^[5,6]采用模糊逻辑方法仅对接收信号强度(RSS)的门限进行动态调整, 从而实现垂直切换算法性能的改进. 本文提出一种预判决辅助的模糊逻辑的垂直切换算法(PFL-VHO), 引入预判决方法能够显著减少系统的开销; 同时采用模糊判决, 对切换性能做联合优化, 采用接收信号强度, 预测信号强度, 可用带宽作为网络参量设计模糊逻辑控制器, 实现快速有效的切换判决.

2 算法描述

在 UMTS 和 WLAN 的无线异构环境中, 具有双模功能的 MT 能够分别与蜂窝网的基站(BS)、无线局域网的接入点(AP)进行通信. 为了保证 MT 在不同接入网络间能够实现无缝漫游, 要求切换机制能够及时触发切换, 跟踪网络的动态条件, 做出准确快速的判决. 接收信号强度(RSS)是切换判决中最重要的参量之一, 本文采用差分预测的方法, 根据当前信号强度 RSS 预测下一时刻的 RSS, 根据预测值来触发切换, 从而缩短切换的发现时间. 同时在模糊逻辑判决前增加预判决处理, 这样需要经过模糊处理的采样点显著减少, 从而减小系统开销. 并且本文对模糊逻辑判决做出改进, 简化模糊逻辑控制器, 利用多参量的模糊隶属度的联合量化值做出切换判决. 本文提出的 PFL-VHO 算法流程图如图 2 所示.

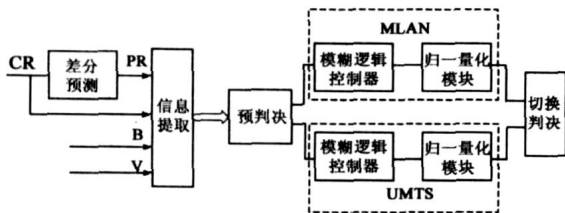


图 2 PFL-VHO 算法流程

2.1 差分预测

信号预测技术作为切换的触发机制和判决参量, 可以提高切换的速度和精度. 但复杂的信号预测在移动终端上难以实现, 因此我们采用简单的前向差分预测方法, 根据前一时刻和当前时刻信号(CR)来预测下一时刻的信号强度(PR), 在不增加终端复杂度的前提下改进垂直切换算法的性能. 本文的信号预测器如式(1)所示.

$$\hat{r}(k+1) = \alpha(k) \cdot I(k) + \beta(k) \tag{1}$$

$$= [\alpha_1(k) \ \alpha_2(k)] [r(k) \ r(k-1)]^T + \beta(k)$$

其中, k 为当前时刻; $I(k)$ 为 k 时刻的输入矩阵, $I(k) = [r(k) \ r(k-1)]$; $\alpha(k)$ 、 $\beta(k)$ 表示 k 时刻的预测系数矩阵, $\alpha = [\alpha_1 \ \alpha_2]$. 本文按最小二乘准则求得最优预测系数, 即 α 、 β 最优应当使 $(k+1)$ 时刻的预测值和

实际观测值 $d(k+1)$ 的误差平方最小, 可得下式成立:

$$\begin{cases} \alpha(k+1) = \alpha(k) + \mu \cdot e(k) \cdot I(k) \\ \beta(k+1) = \beta(k) + \mu \cdot e(k) \end{cases} \tag{2}$$

式中, $e(k) = d(k+1) - \hat{r}(k+1)$, μ 为预测步长, 这里我们取为定值 0.1. 这里以在 WLAN 网络中信号传输模型为例, 如图 3 所示, 可以看到这种简单的预测算法可以得到较好的预测结果, 对切换触发以及下一步的模糊判决而言, 是实用有效的方法.

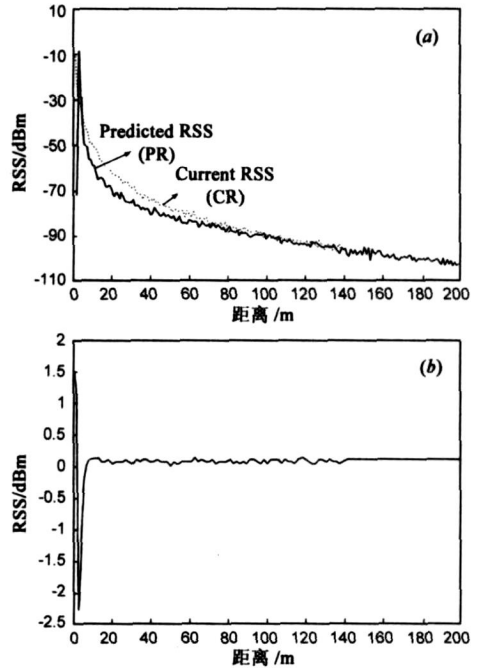


图 3 (a) 预测信号(PR)与实际信号(CR)曲线; (b) 误差曲线

2.2 预判决模型

在模糊处理之前增加预判决处理, 可以对输入信号先进行筛选, 如果采样点的一个或多个参量没有在预判决门限之内的话, 该信号就不用模糊处理了, 可以直接判断为不发生切换. 由此, 需要经过模糊处理的采样点显著减少, 从而大大减小系统开销, 给算法实际应用提供了可靠的保证.

本文以 MT 的预测接收信号强度(PR)和移动速度(v)作为预判决处理的参数. 预判决门限值的选取应该比切换判决的门限值适当放宽, 这里我们选取信号参

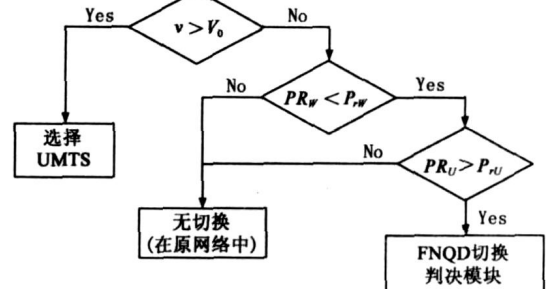


图 4 从 WLAN 向 UMTS 切换预判决流程

量维持通信的最小值. 预判决速度门限为 V_0 ; 在 WLAN 网络中, 预判决 RSS 门限值为 P_{rw} ; UMTS 网络的预判决 RSS 门限值为 P_{ru} . 由于从 WLAN 切换到 UMTS 与从 UMTS 切换到 WLAN 是对称的过程, 所以在此我们仅给出从 WLAN 向 UMTS 切换时的预判决流程, 如图 4 所示.

在模糊处理过程中, 若不加预判决, 每个采样点都会进入模糊逻辑控制模块进行模糊处理, 进行模糊处理的采样点数如图 5(a) 所示. 如果经过预判决处理, 需要进行模糊处理的采样点显著减少了, 如图 5(b) 所示. 由此可以看出, 预判决能够有效地减少进入模糊处理模块的数据量, 达到减少系统开销的目的.

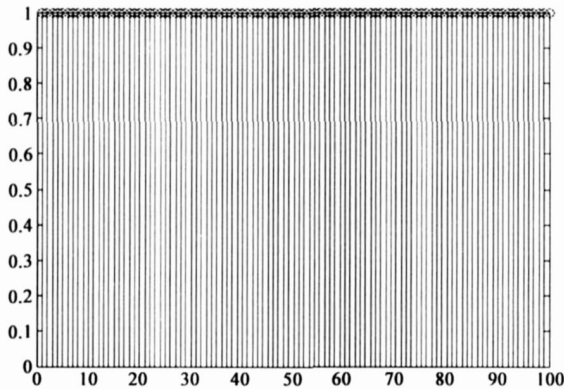


图 5(a) 不加预判决进入模糊处理的采样点数

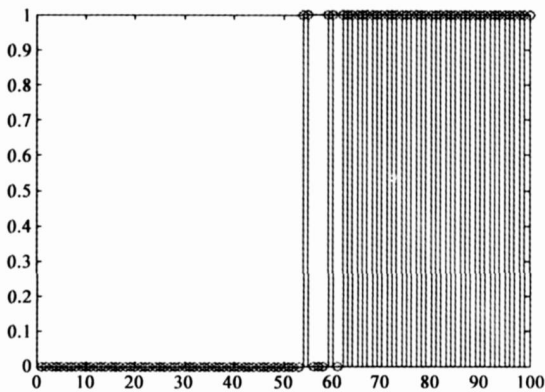


图 5(b) 加预判决后进入模糊处理的采样点数

2.3 基于模糊逻辑的切换判决算法 (PFL-VHO)

经过预判决后的信号进入不同网络的模糊逻辑控制器, 首先利用模糊逻辑方法对信息进行模糊处理, 分别得到两个网络的信息参数的隶属度; 然后对其进行归一化处理, 得到两个网络各个信息参数隶属度的量化值(MNV); 最后在模糊逻辑控制器中得到表示 MH 在可选网络中的综合性能评估值(PEV). 我们比较不同网络 PEV 值, 选择 PEV 大的网络作为通信网络.

(1) 信息参数的模糊化

模糊系统一般选用不超过 4 个参数进行模糊处理, 因为参数选取太多, 系统的开销就大, 处理速度变慢.

对硬件的要求也会有相应的提高; 另一方面, 接收信号强度是切换判决最重要的参数, 可用带宽是衡量网络性能的主要指标, 所以本文选取当前接收信号强度 (CR)、预测信号强度(PR) 和可用带宽 (B) 三个参量进行模糊处理. CR 和 B 的隶属度函数如图 6(a) 和图 6(b) 所示, PR 采用和 CR 相同的隶属度函数.

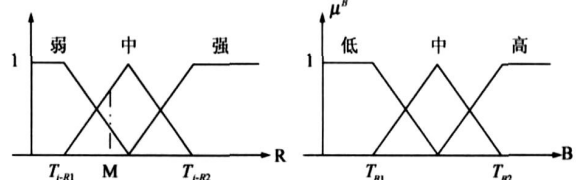


图 6(a) RSS 的隶属度函数图

图 6(b) 可用带宽的隶属度函数

模糊参量 CR 和 PR 具有三个模糊集(弱(W)、中(M)、强(S)), 表示为 $\mu_i^{CR}(W, M, S)$ 和 $\mu_i^{PR}(W, M, S)$; B 也有三个模糊集(低(L)、中(M)、高(H)), 表示为 $\mu_i^B(L, M, H)$; 其中 $i = W$ or U , 分别表示 WLAN 网络或 UMTS 网络. 其中 $T_{W-R1} = P_{rw}$, $T_{U-R1} = P_{ru}$. 得到模糊参量的隶属度后, 不用进入模糊规则器进行规则选取, 同时也不必进行反模糊; 而是对其进行归一量化, 简化模糊控制器的结构.

(2) 归一量化隶属度(MNV)

信息参量经过模糊化后, 我们可以看到同一个参量得到属于不同模糊集的两个隶属度, 如图 6(a) 中的 M 点. 为了进行切换判决, 我们需要对具有两个隶属度的参量进行归一量化, 得到表征网络性能的参量指标. 我们对 CR、PR 和 B 采用的归一量化规则为:

$$[N_{i-W}^{CR}, N_{i-M}^{CR}, N_{i-S}^{CR}] = [N_{i-W}^{PR}, N_{i-M}^{PR}, N_{i-S}^{PR}]$$

$$= \left[\frac{r_i - T_{i-R1}}{2(T_{i-R2} - T_{i-R1})}, \frac{1}{4} + \frac{r_i - T_{i-R1}}{2(T_{i-R2} - T_{i-R1})}, \frac{r_i - T_{i-R1}}{T_{i-R2} - T_{i-R1}} \right] \quad (3)$$

$$[N_{i-L}^B, N_{i-M}^B, N_{i-H}^B]$$

$$= \left[\frac{b_i - T_{B1}}{2(T_{B2} - T_{B1})} + \frac{1}{4} + \frac{b_i - T_{B1}}{2(T_{B2} - T_{B1})}, \frac{b_i - T_{B1}}{T_{B2} - T_{B1}} \right] \quad (4)$$

那么, CR、PR 和 B 对应的 MNV 值为:

$$MNV_i^{CR} = [N_{i-W}^{CR}, N_{i-M}^{CR}, N_{i-S}^{CR}] \times [\mu_{i-W}^{CR}, \mu_{i-M}^{CR}, \mu_{i-S}^{CR}]^T \quad (5)$$

$$MNV_i^{PR} = [N_{i-W}^{PR}, N_{i-M}^{PR}, N_{i-S}^{PR}] \times [\mu_{i-W}^{PR}, \mu_{i-M}^{PR}, \mu_{i-S}^{PR}]^T \quad (6)$$

$$MNV_i^B = [N_{i-L}^B, N_{i-M}^B, N_{i-H}^B] \times [\mu_{i-L}^B, \mu_{i-M}^B, \mu_{i-H}^B]^T \quad (7)$$

(3) 切换判决规则

根据归一量化规则, 我们得到不同参量的 MNV 值, 利用不同的 MNV 进行切换判决. 由于不同的信息参量对网络性能的影响程度不同, 对切换判决的重要程度也不同, 所以首先要对不同参量进行加权处理. 权值的

选择可以根据网络条件进行动态选择,但本文考虑到运算复杂度,根据 CR、PR、B 对切换判决的重要程度不同,采用如式(5)的固定加权处理:

$$\omega = [\omega^{CR}, \omega^{PR}, \omega^B] = [0.5, 0.3, 0.2]$$

其中, $\omega^{CR} + \omega^{PR} + \omega^B = 1$ (8)

则不同网络的综合性能评估值(PEV)为:

$$PEV_i = \omega \times MNV^T$$

$$= [\omega^{CR}, \omega^{PR}, \omega^B] \times [MNV_i^{CR}, MNV_i^{PR}, MNV_i^B]^T$$

$i = W \text{ or } U$ (9)

我们采用的垂直切换判决策略表示为:

(a) 当 MT 从 UMTS 切换到 WLAN 时

如果 $PEV_W > PEV_U$, 则发生切换; 如果 $PEV_U > PEV_W$, 则不发生切换.

(b) 当 MT 从 WLAN 切换到 UMTS 时

如果 $PEV_U > PEV_W$, 则发生切换; 如果 $PEV_W > PEV_U$, 则不发生切换.

3 仿真分析

本文考虑如图 1 所示的 UMTS 和 WLAN 覆盖的区域,移动台穿越异构网络小区,即 MT 沿着一个固定的方向从 UMTS 的 BS1 小区进入 WLAN 的 AP 区,然后进入 UMTS 的 BS2 小区. 其中 $V_0 = 90\text{km/h}$; $P_{r,W} = T_{W-R1} = -105\text{dBm}$; $P_{r,U} = T_{U-R1} = -125\text{dBm}$; $T_{W-R2} = -85\text{dBm}$; $T_{U-R2} = -105\text{dBm}$; $T_{B1} = 0.2$; $T_{B2} = 0.6$.

假设此时 MT 的移动速度为 18km/h ; WLAN 小区范围为 100m ; UMTS 小区范围为 1000m ; WLAN 的 AP 与 BS1 的距离为 950m , 与 BS2 的距离为 1050m . MT 在移动过程中接收到的信号强度随传输距离的变化情况如图 7 所示.

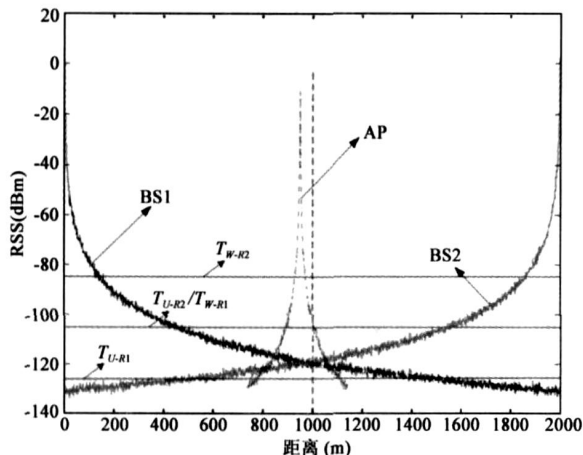


图 7 移动台的接收信号强度曲线

三个小区的可用带宽模型如图 8 所示.

当 MT 从 UMTS 的 BS1 小区向 BS2 小区运动,途中穿越 WLAN 小区,在此过程中发生了两次垂直切换,切换发生点的 PEV 值如表 1 所示.

表 1 切换发生点的 PEV 值

切换次数	PEV_U	PEV_W	发生网络	切换位置(m)	判决结果
1	0.46162	0.60976	BS1 和 AP	874	WLAN (AP)
2	0.30871	0.27375	AP 和 BS2	1053	UMTS (BS2)

仿真模型中 WLAN 的 AP 与 BS1、BS2 的距离分别为 950m 和 1050m ,并非位于中点,因此切换 1 发生时,MT 距离 BS1 和 AP 都比较近,两个网络 PEV 值比较大;而在切换 2 发生时,MT 距离 AP 和 BS2 都比较远,两个网络 PEV 值比较小.

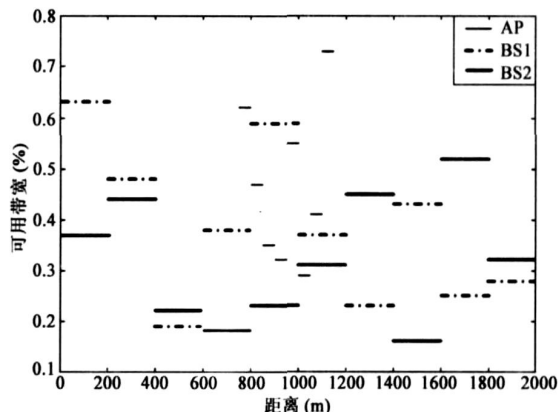


图 8 异构网络不同小区的可用带宽

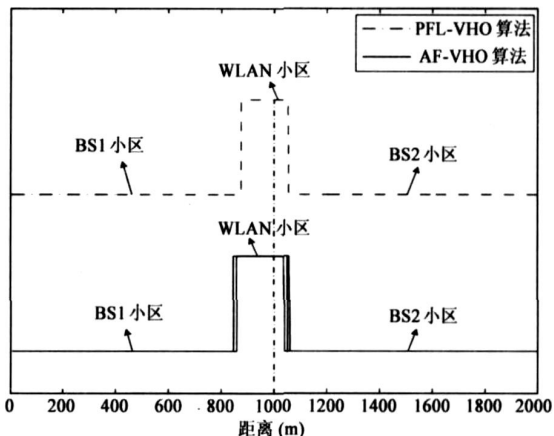


图 9 PFL-VHO 算法的切换判决曲线

此外,与对 RSS 的门限进行动态调整的模糊逻辑切换算法(AF-VHO)^[5]相比较,PFL-VHO 算法能够有效减少不必要的切换次数,避免乒乓效应,得到了较好的切换效果,如图 9 所示.另一方面,可以看到 PFL-VHO 的切换位置发生在 AF-VHO 的切换之后,这是由于优化后的算法带来了一定的切换延时,但是可以看出这个时间延迟很短.

4 结论

本文提出的 PFL-VHO 算法采用模糊逻辑的智能信息处理方法进行垂直切换判决,结合信号预测技术和预判判决方法来提高算法性能.前向差分预测能够准确

预测出下一时刻的信号强度,提高了切换触发速度和切换判决精度;预判决方法能够有效减少不必要的数据量,减少了系统开销;本文简化了模糊逻辑控制器,采用归一量化的方法得到网络的综合性能值,进而做出垂直切换的判决.通过仿真分析看到,PFL-VHO 算法能够准确做出切换判决,有效地消除了乒乓效应,提高了系统整体性能.

参考文献:

- [1] Peter Newman. In search of the alt IP mobile network[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(12) : 53- 58.
- [2] McNair J, Fang Zhu. Vertical handoffs in fourth generation multinetwrok environments[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(3) : 8- 15.
- [3] I F Akyildiz, J McNair, J S M Ho, H Uzunalioglu, W Wang. Mobility management in next generation wireless systems[J]. Proceedings of the IEEE, Piscataway NJ USA, 1999, 87(8) : 1347- 1384.
- [4] N D Tripathi. Generic adaptive handoff algorithms using fuzzy logic and neural networks[D]. PhD Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, August 21, 1997.
- [5] A Majiest, B H Khalaj. An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks[A]. Proc of the 13th IEEE International Symposium on

Personal, Indoor and Mobile Radio Communications[C]. Portugal: IEEE PIMRC, 2002. 2446- 2451.

- [6] C J Lin, F Ta Tsai, C Y Lee. An adaptive fuzzy predictor based handoff algorithm for heterogeneous network[A]. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society[C]. Canada, June 2004, 944- 947.

作者简介:



刘 侠 女,1978 年 11 月出生于河南新乡.现为上海交通大学电子系博士研究生,从事下一代无线通信网络移动性管理以及无线资源分配方面的研究工作.

E mail: liuxia1623@sjtu. edu. cn



蒋铃鸽 女,1959 年 9 月出生于湖南岳阳.现为上海交通大学教授,博士生导师.主要从事通信中的智能信息处理,全 IP 无线通信技术以及数字水印等方面的研究工作.

E mail: lgjiang@sjtu. edu. cn