

多模可重构终端的无线接入管理

刘 琪, 李承恕

(北京交通大学现代通信研究所, 北京 100044)

摘 要: 本文给出了多模可重构终端(RT)的概念, 并且设计了 RT 的基本功能结构模型, 使其能够与各类异种无线接入网络(RANs)进行通信. 文中针对 RT 如何选择 RANs 和无线接入技术(RATs)的问题, 提出了一种具体的解决方案. 该方案由终端和无线接入网络分工合作完成, 终端方面是建立或者改变连接的发起方, 负责与本地无线环境密切相关的信息处理, 向网络传递用户需求等通信参数. 文中通过 RT 接入管理的三层贝叶斯网络运算模型来实现上述功能. 网络方面负责解决网络间合作的问题, 拥有选择 RANs 和 RATs 的最终决策权. 文中给出了网络方面为 RT 选择最佳 RATs 的流程图和算法. 最后, 仿真结果验证了上述方案的有效性.

关键词: 多模终端; 可重构; 无线接入; 贝叶斯网络

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2007)10-1833-05

Radio Access Management for Multi-mode Reconfigurable Terminals

LIU Qi, LI Cheng shu

(Modern Telecommunications Institute, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The conception of multi mode reconfigurable terminals (RT) is given. And the basic functional architecture of RT is designed, so that RT could communicate with different kinds of radio access networks (RANs). A scheme for RT selection of RANs and radio access technologies (RATs) is proposed, which is co operated by RT and RANs. The RT, which is the initiator of connection establishment and link changes, is responsible for processing the information associated with the local wireless environment. Then it transmits the parameters of user requirements to the network. The implement of the above functions is based on the three levels Bayesian Network model for RT's radio access management. The network, which has the final decision making right of RATs selection, takes charge of the issues related to the network composition. Finally, computer simulations proved the valid of this scheme.

Key words: multi mode terminals; reconfigurable; radio access; Bayesian network

1 引言

随着移动通信迅速发展, 异种网络并存的无线通信环境已经逐渐形成, 如无线接入网络(RAN: Radio Access Network)^[1]包括蜂窝网、WLAN、WiMAX 网络、ad-hoc 网络等. 各类网络也有很多标准, 如蜂窝网络就包括 W-CDMA、cdma2000、TD-SCDMA、GPRS 等无线接入技术(RAT: Radio Access Technology)^[1]标准. 目前这些具有不同标准的异种网络大部分都独立工作, 彼此之间缺乏合作. 这样就造成了通信系统在地域上的分割局面, 为用户带来不便. 针对上述问题, 欧洲 IST 第六工作框架计划中提出了复合可重构无线网络(Composite Reconfigurable Wireless Networks)^[2,3]概念, “复合(composite)”是指异种网络间的密切合作, “可重构(reconfigurable)”是指终端能够

基于软件无线电(SDR)技术进行重新配置, 使其适用于多种通信技术和协议标准. 在复合可重构无线网络中, 多模可重构终端(RT: Reconfigurable Terminal)^[1]的功能实现, 以及 RT 和各种无线网络间的连接管理是非常重要的. 本文首先设计了 RT 的基本功能结构模型, 然后在分析 RT 发展的基础上, 针对单个 RT 如何在异种无线网络中选择最佳的 RAT 网络问题提出了一种具体的解决方案.

2 可重构终端

未来可重构终端的理想目标是: (1) 研制出新一代的基于 SDR 技术的终端设备, 为多标准通信提供一个标准化的操作平台; (2) 定义终端内的协议栈和接口, 使其能够适应现存所有的无线接入技术的通信要求;

(3) 终端能够高效率地通过网络下载软件, 进行软件更新和修复^[3]; (4) 终端可以根据需求发现、监测并且选择 RANs 和 RATs, 而且能够同时与多个 RANs 通信; (5) 终端能够监测通信过程中的一些性能参数, 以便支持终端重构和网络复合。

为了实现上述目标, 我们设计了可重构终端的基本功能结构模型, 如图 1 所示。该模型主要由物理实体、重构管理中心 (RT-RMC) 和系统运行环境三部分组成。系统运行环境包括各层的操作平台和终端内部存储资源。终端将储存多种通信标准的协议和软件, 以备随时调用。终端可以根据需求随时卸载或者安装软件, 对操作平台进行多种模式的软件配置。物理实体^[4] 包括各种可重构元件。这些元件基于 SDR 技术, 能够适应多种标准的要求, 为各种无线接入模式和多样化的通信业务提供一个标准化的操作平台。RT-RMC 是整个可重构终端的核心部分, 包括无线环境监测模块、RAT 网络连接核心处理模块和硬件重构控制模块, 分别负责对周围无线环境的监测、选择 RAT 并且在不同 RATs 间进行切换、对内部元件进行重构等三方面工作, 使得终端能够在异种网络并存的环境中顺利地通过各种无线接入技术实现网络链接, 享受最佳的服务。

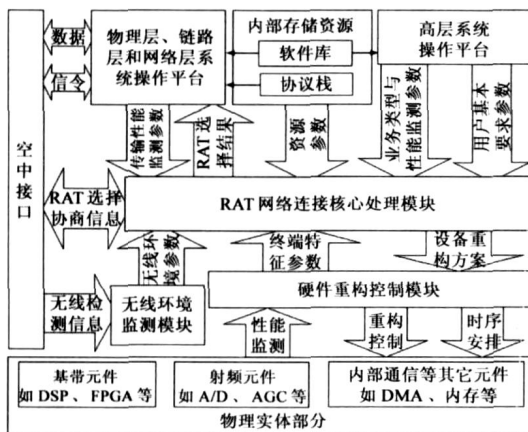


图 1 RT 的基本功能结构模型

3 RT 的无线接入管理

多模可重构终端的功能实现受到 SDR 技术的限制, 同时也要考虑到无线网络发展的影响。根据现在 RT 的研究情况和无线通信的发展趋势, 我们做出如下假设。在未来 RT 使用初期, 一个运营商可以拥有一个或者多个 RAT 网络, 每个终端用户只在一个运营商处进行注册, 各种网络 and 不同运营商之间可以按照一定的协议建立合作关系, 共同为用户提供无缝的 QoS 服务。RT 已经具备前文中提到的基本功能, 只是计算能力和电源功率方面还有待于加强。基于上述假设, 我们针对单一用户的无线业务接入问题, 特别是关于 RAT 网络

的选择方面, 提出下述解决方案。

在接入管理中, 用户的注册运营商网络是主控方, 拥有选择 RAT 网络的最终决策权; 终端方面是建立或者改变连接的发起方, 负责向网络传递用户需求, 提供必要的辅助和建议功能。在选择 RAT 网络的运算中, 终端和网络间也是分工负责的, 终端负责与本地无线环境密切相关的处理, 如无线检测、推断用户需求等, 注册运营商网络负责解决涉及到其他运营商与网络间合作的问题, 如获取其他网络的最新信息、与其进行通信协商等。下面我们从终端和网络两个方面进行详细的讨论。

3.1 终端方面

终端方面, 我们使用三层贝叶斯网络模型来处理关于 RAT 网络选择的运算, 如图 2 所示。

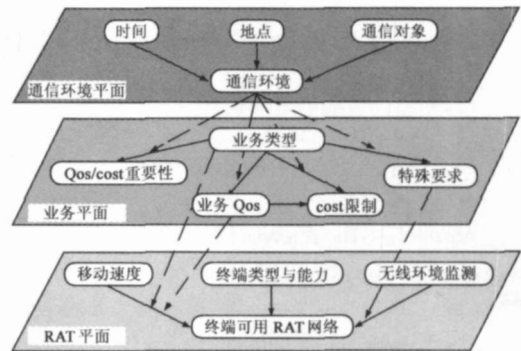


图 2 RT 接入管理的贝叶斯网络运算模型

3.1.1 贝叶斯网络简介

传统贝叶斯网络^[5] 是以一组变量为元素, 各个变量之间的关系用箭头表示, 构成一个定向非循环的关系图。每个变量拥有有限多个互斥状态, 变量之间的定量关系通过条件概率表 (CPTs)^[6] 决定。Terziyan 提出的多层贝叶斯网络是从传统贝叶斯网络演变而来的^[5]。多层贝叶斯网络分为 C 类和 R 类两种, 其中 C 类用来处理变量间的条件依赖关系问题, R 类用来在众多变量之中找出与目标概念相关的子集合^[5]。本文中使用的是 C 类多层贝叶斯网络, CPTs 中条件概率值的初始数据可以由用户定义, 也可以通过终端询问用户训练获得。然后终端对成功满足用户需求的业务连接进行记录和统计, 按照梯度下降 (gradient descent) 算法^[6] 更新 CPTs 的数据, 后文将给出具体算法和仿真实例。

3.1.2 贝叶斯平面的功能与算法

(A) 通信环境平面

功能: 终端根据输入参数推断出用户所处的通信环境, 为下一步获得用户在此环境中的通信要求做准备。因为用户的通信要求可能会随着时间、地点、通信对象等条件的变化而有所改变^[5], 所以判断用户通信环境是非常重要的, 作者希望通过该平面的运算, 使得

终端具有一定的智能化功能,动态地推断出用户的当前通信环境。

输入参数:(1)时间(t):从终端时钟获得,然后推断用户的时间域。时间域是指用户的时间类别,内容:如工作时间、休闲时间、重要时间等。(2)地点(l):从 GPS 或者网络获得定位数据,然后推断用户的位置域。位置域是指用户的地点类别,内容:如家、单位、路途中等。另外,需要时还可以通过速度记算推断用户所处的具体环境或乘坐的交通工具,如步行、汽车、火车等;(3)通信对象(w):从地址部判断通话对象类型。内容:如家人、朋友、同事、重要人物等。上述参数初始化可以由用户进行设定,或者由终端和用户配合通过询问方式训练完成,然后终端就可以根据这些信息判断上述参数的状态。

输出参数是通信环境(e):即用户所处的环境域。环境域是指用户的通信环境类型,根据环境域终端可以推断用户需求与偏爱。内容:工作状态、休闲状态等,每个状态对应一组业务需求参数。通信环境的运算可以是定时周期运行的,也可以是触发启动的。

具体算法公式:表 1 给出了三个输入参数(t, l, w)和输出参数(e)的取值,图 3 给出了(t, l, w)的坐标

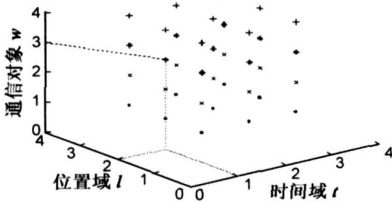


图 3 (t, l, w)的坐标星座图

星座图。从图 3 中我们可以看到(t, l, w)的不同取值对应于 36 个坐标点,那么我们需要建立这 36 个点和 e 的三个坐标值之间基于概率推断的映射关系。假设通过 s 次训练获得的取样集合 $S = \{X_i\}_{i=1,2,\dots,s} = \{X_1, X_2, \dots, X_s\}$, 那么第 i 次取样的输入参数 $U_i = \{u_{ik}\}_{k=1,2,\dots,36} = \{t_{ik}, l_{ik}, w_{ik}\}$, 其中 $k_1 = 1, 2, 3, k_2 = 1, 2, 3, k_3 = 1, 2, 3$, 且 $k_1 k_2 k_3 = k_{max} = 36$, 输出参数 $Y_i = \{y_{ij}\}_{j=1,2,3} = \{e_{ij}\}$, 输入参数 $U_i = u_{ik}$ 时, 输出参数为 $Y_i = y_{ij}$ 的概率表示为 $w = w_{ijk}$, 下面我们按照梯度下降算法计算和更新 CPT 中的概率参数。

w_{ijk} 的最佳取值应该使得函数 $P_w(S) = \prod_{i=1}^s P_w(X_i)$ 取得最大值^[6], 因此梯度下降幅度为 $\frac{\partial \ln P_w(S)}{\partial w_{ijk}} = \sum_{i=1}^s \frac{P(Y_i = y_{ij}, U_i = u_{ik} | X_i)}{w_{ijk}}$, 概率参数更新为 $w_{ijk} = w_{ijk} +$

$(l) \frac{\partial \ln P_w(S)}{\partial w_{ijk}}$, 其中 l 为比较小的常数, 表示该 CPT 的学习速度(learning rate)。最后, 对 w_{ijk} 进行归一化处理, 就得到了 CPT 中的概率参数。表 2 给出了 VC 软件仿真得到的 CPT。下面两个平面的 CPT 计算方法与此相同, 只是参数有所变化。当然, 用户也可以对通信环境进行单独设定, 因此通信环境平面的算法为: if user-defined $\neq 0$, CON-

TEXT = { $e | e = \text{user-defined}$ }, 即由用户设定环境域; if user-defined = 0, CONTEXT = { $e | \text{CPT}(U, w)$ }, 即终端根据 CPT 推断出环境域。

表 1 变量 t, l, w, e 的坐标含义

t	1	2	3	
时间域	工作时间	休闲时间	重要时间	
l	1	2	3	
位置域	家	单位	路途中	
w	1	2	3	4
通信对象	家人	朋友	同事	重要人物
e	1	2	3	
通信环境	工作状态	休闲状态	特殊状态	

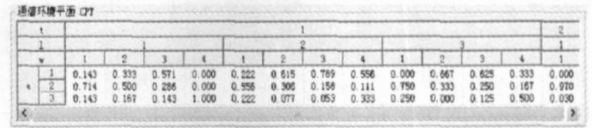


表 2 通信环境平面 CPT

(B) 业务平面

该平面的功能是: 终端根据通信环境和业务类型推断出用户此时的业务需求, 作为后面选择 RAT 网络的限制参考条件。不同的环境域对应用户不同的业务需求, 即针对各种类型业务的 Qos、费用限制等具体要求。这些业务需求可以是用户预先设定的, 也可以是终端从 CPTs 获得的。详见图 2 贝叶斯网络第二层“业务平面”。其中特殊要求的内容是: 当用户需求不能完全满足时的解决办法(默认为自动调节), 如中断通信连接、重新询问用户等; 以及用户对于 RAT、运营商的选择和偏爱等一些个性化要求。特殊要求的一部分内容由终端处理, 另一部分内容可能需要发送给网络, 向网络表达终端用户的需求和偏爱。

(C) RAT 平面

该平面的功能是: 根据无线环境、终端状态和业务需求等推断出终端可以使用的 RAT 网络, 详见图 2 贝叶斯网络第三层“RAT 平面”。值得提出的是: 无线环境监测参数从无线环境监测模块获得。每个 RAT 网络会通过基站或者接入点(AP)在覆盖区域内发送一个固定功率的广播信号, 用来标志该网络的存在, 其中包括该网络的基本信息。参数内容包括网络标志号(包含频率、RAT、运营商等信息)、信号功率强度等。具体算法: (1) RATs1 = {RAT | environment, special requirements}, 即无线环境监测结果中符合用户个性化要求的候选网络。(2) RATs2 = RATs1 \cap {RAT | $P(\text{RAT} | \text{speed, service type, Qos}) \geq p'$ }, 即在此终端的移动速度下能够保证以概率 p' 为用户提供所需业务的 RAT 网络。终端需要存储理想情况下每个 RAT 针对不同 Qos 业务的速度上限的概率临界值, 从而推断出符合速度要求的 RAT。(3) Available RATs = RATs2 \cap {RAT | terminal type and capabili-

ty}, 即根据终端的类型和现有能力得出能够使用的 RAT 网络.

3.1.3 发送给网络的参数

初始接入时将“终端类型”参数发送给网络, 以便于后面的业务接入管理. 用户有业务需求时, 终端请求选择最佳 RAT 网络, 发送如下参数: (1) 业务类型(包括“业务标志码”); (2) 业务 Qos; (3) cost 限制; (4) Qos/cost 重要性(用于调整 Qos, cost 参数); (5) 终端可用 RAT 网络(包括信号功率); (6) 部分“特殊要求”.

3.2 网络方面

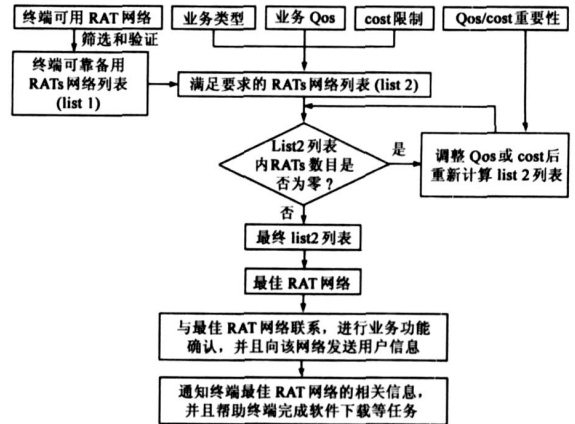
用户注册运营商的网络根据终端发送的参数和网络状况, 为终端选择最佳 RAT 网络. 图 3 给出了处理流程图和相应算法. 这里没有考虑“特殊要求”参数, 如果“特殊要求”中有无法完全满足用户要求则中断连接, 或者再次询问用户等规定, 那么网络将按照指示进行操作; 如果其中指出了用户偏爱的 RAT, 那么网络在确定“最佳 RAT 网络”运算中应该适当考虑. 通过上述运算, 使得用户的通信业务能够接入最适合的 RAT 网络, 获得相对最优的服务.

3.3 软件仿真

假设某用户刘先生使用的是多模可重构终端, 他注册的运营商是“operator0”. 用户设定终端开机后初始接入的网络是 operator0 的 W-CDMA 网络, 记为 RAT# 0, 用户的常规业务都由 RAT# 0 负责. 假设现在是星期一上午, 刘先生在办公室, 他正准备用移动终端与一位本城市的公司客户进行多媒体视频交流, 下面对该过程进行软件仿真.

首先, 终端发现有新业务, 启动关于 RAT 网络选择的运算. 第一步判断出通信环境坐标为 $(t, l, w) = (1, 2, 3)$, 如表 1、图 3 所示. 根据表 2 的 CPT 数据, 通信环境为 $e = 1$ 的概率最高达到 78.9%. 所以判断用户的环境域为“工作状态”. 第二步终端为该多媒体业务分配“业务标志码”= ST3.1. 然后根据表 3 的 CPT 数据得: 业务 Qos=“5”, cost 限制=“ ≤ 5 元/1G 流量或者 ≤ 2 元/分钟”, Qos/cost 重要性=“1/0”, “特殊要求”=“拒绝使用 operator3 的网络”. 第三步中无线环境检测结果如表 4 所示. 根据用户关于选择 RAT 网络的“特殊要求”, 得到 $RATs_1 = \{RAT\# 0, RAT\# 1, RAT\# 2, RAT\# 3, RAT\# 4\}$. 用户处于静止状态, 该终端又能够接入 $RATs_1$ 中的所有网络, 因此 Available RAT= $\{RAT\# 0, RAT\# 1, RAT\# 2, RAT\# 3, RAT\# 4\}$. 第四步终端将下列各项参数发送给 RAT# 0: 业务类型=“多媒体业务 ST3.1”; 业务 Qos=“5”; cost 限制=“ ≤ 5 元/1G 流量或者 ≤ 2 元/分钟”; Qos/cost 重要性=“1/0”; 终端可用 RAT 网络= $\{RAT\# 0, RAT\# 1, RAT\# 2, RAT\# 3, RAT\# 4\} = \{operator0/W-CDMA, operator1/WLAN/802.11a, b, g \text{ 自适应}, operator0/$

WiMAX, operator1/TD-SCDMA, operator2/cdma2000}. 然后, RAT# 0 接收上述参数, 启动网络关于 RAT 选择的运算. 根据各方面的相关信息网络对终端可用 RAT 网络列表进行筛选得到 $list1 = \{RAT\# 0, RAT\# 1, RAT\# 2, RAT\# 3, RAT\# 4\}$. 这里假设 RAT# 3, RAT# 4 的资费标准不满足用户要求, 那么得出符合业务需求的网络列表为 $\{RAT\# 0, RAT\# 1, RAT\# 2\}$. 该列表中有与通信距离关系密切的 WiMAX 网络 RAT# 2, 需要进一步处理. 根据终端的位置、WiMAX 基站位置和“信号功率强度”等参数, 网络推断出终端处于 RAT# 2 的覆盖边缘, RAT# 2 所能够为该用户提供的数据传输速率不能满足 $Qos = 5$ 的多媒体业务需求, 所以 $list2 = \{RAT\# 0, RAT\# 1\}$. 按照费用最低标准, 最佳 RAT 网络= RAT# 1= operator1/WLAN/802.11a, b, g 自适应. 最后, RAT# 0 与 RAT# 1 完成通信协商和信息交换, RAT# 0 通知终端最佳 RAT 网络为 RAT# 1, 进行软件下载和更新, 帮助终端和 RAT# 1 网络建立通信连接^[7], 这样刘先生就可以与客户进行多媒体视频交流.



```

i = 0; j = 0;
for(k = 0; k < n; k++) // 假设有 n 个“终端可用 RAT 网络”
{ if(availableRAT(k)) { list1(i) = availableRAT(k); i++; } // for;
for(k = 0; k < i; k++)
{ if(f(list1(k), servicetype, Qos, costlimit)
{ list2(j) = list1(k); cost(j) = realcost(list2(j), Servicetype, Qos);
j++; } // for; 其中 f() 函数用于检验 list1 中第 k 个 RAT 是否能
// 够满足 Qos, cost 需求; realcost() 函数用于计算 list2 中第 j 个 RAT
// 提供业务收取的实际费用
while((j-1) == 0)
{ (servicetype, Qos, costlimit) = adjust(servicetype, Qos, costlimit,
Qos/cost); // adjust() 是 Qos, cost 的调整函数
for(k = 0; k < i; k++)
{ if(f(list1(k), servicetype, Qos, costlimit) { list2(j) = list1(k);
cost(j) = realcost(list2(j), Service type, Qos); j++; } // for
} // while
cost = cost(0);
for(k = 1; k < j; k++) { if(cost(k) < cost) { cost = cost(k); m = k; }
// for
bestRAT = list2(m);

```

图 4 选择最佳 RAT 网络的流程图

业务平面 CPT														
业务名	业务名					zms/限制				Qos/业务重要性			特殊要求	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1/0	2/2	4/3		5/1
1	0.000	0.050	0.125	0.300	0.525	0.500	0.500	0.150	0.050	0.150	0.150	0.100	0.000	多媒体业务
2	0.106	0.581	0.116	0.070	0.047	0.814	0.116	0.070	0.000	0.047	0.140	0.628	0.186	多媒体业务
3	0.000	0.000	0.000	0.200	0.800	0.000	0.000	0.100	0.900	1.000	0.000	0.000	0.000	多媒体业务

业务限制: "1": < 2元/1G流量或者< 1元/分钟; "2": < 5元/1G流量或者< 2元/分钟;
"3": < 10元/1G流量或者< 5元/分钟; "4": 无限制

表 3 业务平面 CPT

终端无线环境监测	
RAT网络	快速RAT切换
RAT#0	operator0/W-CDMA
RAT#1	operator1/WLAN/802.11a, b, g自适应
RAT#2	operator2/WLAN
RAT#3	operator1/TD-SCDMA
RAT#4	operator2/odm2000
RAT#5	operator3/GSM900

表 4 无线环境监测结果

上面的例子没有体现出速度对 RAT 选择的影响. 假设刘先生不是在办公室, 而是在汽车上, 速度约为 30km/h, 通信环境平面和业务需求平面所得的各项参数不变. 根据 802.11 标准参数的近似计算和软件仿真, 可以得到理想情况下 WLAN 业务能力随着终端速度变化的概率曲线, 如图 5 所示, 曲线上每个点表示 WLAN 在该速度下能够为用户提供某个 Qos 多媒体业务的概率. 这里假设 $p' = 0.4$, WLAN 提供 Qos=5 多媒体业务的终端极限速度约为 9km/h, 远小于用户实际速度, 所以在 RAT 平面运算中, RAT# 1 被淘汰. 可用 RATs = {RAT# 0, RAT# 3, RAT# 4}. 再经过网络方面处理得 list2 {RAT# 0} = {operator0/W-CDMA}. 所以此时的最佳 RAT 网络不再是 RAT# 1, 而是 RAT# 0.

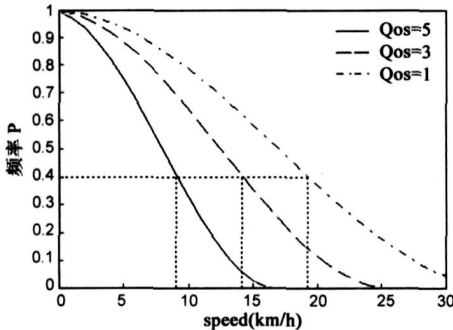


图 5 WLAN 多媒体业务能力随速度变化的概率关系图

4 总结

本文给出了多模可重构终端的功能结构模型, 提出了一种可重构终端选择接入网络的解决方案及其具体步骤, 并且进行了仿真. 方案中终端和网络分工负责的接入管理方式, 不仅照顾到了终端电量和计算能力受限的问题, 又在一定程度上保证了业务接入的稳定性与可靠性. 但是, 本文只是对单一用户的业务接入管理进行了初步的探讨, 还有许多需要改进的地方, 用户在不同 RATs 间的切换, 网络对接入用户的整体管理以及网络间的无线资源共享等很多问题还有待于我们去

研究.

参考文献:

- [1] N Alonistioti, A Kaloxylos, P Demestichas, et al. System and Local Level Reconfigurability Management and Interactions [OL]. <http://www.wirelessworldresearch.org/meetings/WWRF8/wwrf8b-demestichas.pdf>, 2004.
- [2] Bartolome Arroyo fernandez, Jose Fernandes, Ramjee Prasad. Composite reconfigurable wireless networks: the EU R&D path toward 4G [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(5): 62- 63.
- [3] 李承恕. 复合可重构无线网络——欧洲走向 4G 的研发之路 [J]. 中兴通信技术, 2003, 9(6): 28- 31. LI Cheng shu. Composite reconfigurable wireless networks [J]. Zhongxing Telecom Technology, 2003, 9(6): 28- 31. (in Chinese)
- [4] Jörg Brakensiek, Mohsen Darianian, Siegfried Walter, et al. Reconfigurable Physical Layer Architecture Supporting End to End Reconfiguration (E2R) [OL]. http://wg6.wwf.org/meetings/WWRF10/WG6_10.pdf, 2004.
- [5] Elaheh Homayounvala, Seyed Ali Ghorashi, A H Aghvami. A Bayesian Approach to Modelling User Preferences for Reconfiguration [OL]. <http://e2r.motlabs.com/workshops/e2rworkshops/index.html#poster02.pdf>, 2004.
- [6] Jiawei Han, Micheline Kamber. Data Mining: Concepts and Techniques [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Press Ltd, 2001. 296- 302.
- [7] 刘琪, 李承恕. WLAN 与 B3G 结合的结构框架和接入技术 [J]. 铁道学报, 2006, 28(4): 60- 64. Liu Qi, Li Chengshu. Framework & access technology for integration between WLAN & B3G [J]. Journal of the China Railway Society. 2006, 28(4): 60- 64. (in Chinese)

作者简介:



刘 琪 女, 1982 年出生于黑龙江省安达市, 北京交通大学博士研究生. 主要研究方向为无线通信与移动通信.
E mail: fanfengpia@163.com

李承恕 男, 1932 年出生于重庆市, 北京交通大学教授, 博士生导师. 主要研究方向为无线通信与移动通信.
E mail: csl@center.nju.edu.cn