

TD-HSUPA 的自适应调度算法

李方伟, 王可, 朱江, 陈善学

(重庆邮电大学 移动通信重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 提出了自适应分组调度的策略, 使 TD-HSUPA (high speed uplink packet access, 高速上行分组接入) 可以更加灵活地进行分组调度。在自适应调度算法中, 系统进行调度算法的同时, 在后台运用遗传算法找出更适合当前无线网络环境的权值。系统仿真表明, 该算法可以灵活地处理各种网络环境。

关键词: TD-HSUPA; 分组调度; 自适应; 遗传算法

中图分类号: TN929.532

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)05-0177-06

Novel adapting packet scheduling of TD-HSUPA

LI Fang-wei, WANG Ke, ZHU Jiang, CHEN Shan-xue

(Mobile Telecommunication Key Lab, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Adapting packet scheduling was presented. The scheme made it more flexible for packet scheduling in TD-HSUPA. In the scheme, it used genetic algorithm to find more suitable weights in the background. System simulation results prove that this scheme does well in dealing with complex network environment.

Key words: TD-HSUPA; packet scheduling; adapting; genetic algorithm

1 引言

随着数据业务的急剧增加, 要求系统提供更高的传输速率和更小的传输时延, 3GPP 提出了 HSUPA 系统的概念^[1]。对于 TD-HSUPA 而言, 主要增加了基于 Node B 的快速调度和混合自动重传请求(HARQ, hybrid automatic repeat request)技术。在 TD-HSUPA 系统中提供了更多的多媒体业务, 如视频电话、移动电视、游戏、电子商务、VoIP 和 FTP 等。多样化的业务使网络变得更加复杂、多变, 这样对于如何在复杂、多变的网络环境下保证不同业务的服务质量(QoS, quality of service)^[2-4]就有了更高的要求。

在 3GPP 协议中根据用户端到端的 QoS 要求定义了 4 种基本业务类型: 会话类业务、流类业务、交互类业务和后台类业务。对于传统的调度算法^[5], 只是注重吞吐量与公平性的调节, 如最大载干比算

法、轮询算法和正比公平算法, 它们不能保证实时业务对时延(会话类和流类)的要求, 而 M_LWDF 算法和 EXP 算法虽然可以较好地解决实时业务 QoS 的保证, 但是都不能对变化的网络进行调整。本文提出了一种自适应的调度算法, 根据不同的网络环境对调度的参数进行微调, 以更好地保证各业务的 QoS。

2 TD-HSUPA 调度过程

TD-HSUPA 调度过程^[6,7]如图 1 所示。

当 UE 有资源要传输但又没有获得授权时, UE 通过 E-DCH 随机接入上行控制信道(E-RUCCH, E-DCH random access uplink control channel)发送调度信息(SI, scheduling information)给 Node B。SI 如下。

最高优先级逻辑信道的 ID(HLID, highest priority logical channel ID): 4 bit, 在 HSUPA 中不同的业务映射不同的优先级的逻辑信道, 以提高

QoS。

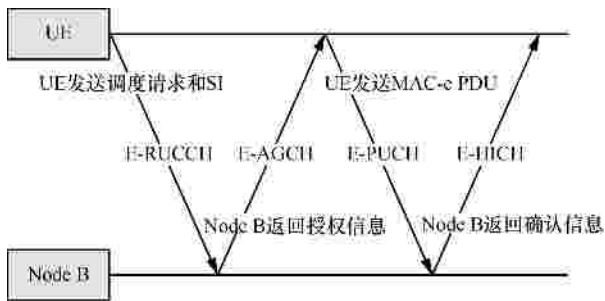


图1 TD-HSUPA 调度过程

最高优先级逻辑信道的缓存状态(HLBS, highest priority logical channel buffer status) : 4bit , 最高优先级逻辑信道的缓存大小占总缓存大小的比例。

总缓存状态(TEBS, total E-DCH buffer status) : 5bit。

UE 净空功率(UPH, UE power headroom) : 5bit , UE 发送功率与其最大发送功率之比。

服务小区与临小区的路损(SNPL, serving and neighbor cell path loss) : 5 bit , 服务小区与同频临小区的接收信号码功率(RSCP, received signal code power) , 有 2 种定义方式。

$$\text{方式 1 : } F = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \frac{L_{serv}}{L_n}} \quad (1)$$

$$\text{方式 2 : } F = \frac{\min_{n=1, L, N} (L_n)}{L_{serv}} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中的 L_{serv} 表示服务小区路损, L_n 表示同频临小区路损。

Node B 根据接收到的调度请求, 综合考虑 RoT^[8] (rise over thermal)、功率控制和 SI 因素, 进行资源分配, Node B 不能精确得到 UE 缓存状态与其所有业务的信息, 所以 Node B 不直接决定 UE 传输块大小, 而是通过对 UE 的功率、时隙和码道资源的限制进行调度。在 E-DCH 绝对授权信道(E-AGCH, E-DCH absolute grant channel)上进行授权, 授权信息如下。

功率资源相关信息(PMRI, power resource related information) : 5 bit , E-DCH 物理上行信道(E-PUCH, E-DCH physical uplink channel)上的期望接收功率与参考值 P_{e-base} 的比值。

时隙资源相关信息(TRRI, timeslot resource re-

lated information) : 5 bit , 最多对应 5 个时隙。

码道资源相关信息(CRRI, code resource related information) : 5bit , 终端可使用的码字只能在给定的 32 种中取一种。

资源持续因子(RDI) : 3bit , 指示资源持续时间, 为可选项。

E-HICH 指示(EI) : 2bit , 给出在下一个调度周期时, 使用哪一个 E-DCH HARQ 指示信道(E-HICH, E-DCH hybrid ARQ indicator channel)传输确认信息。

E-DCH 上行控制信道的个数(ENI) : 3 bit , E-DCH 上行控制信道(E-UCCH)的个数, 系统最多有 8 个 E-UCCH。

UE 将一直保持着对 E-AGCH 的监控, 如果没有接收到授权, UE 将重新发送 SI。而在接收到授权后, UE 根据 Node B 的授权信息, 进行 E-TFC 选择。然后根据 E-TFC 选择结果组装 MAC-e PDU, 在上行物理信道(E-PUCH, E-DCH physical uplink channel)上发送给 Node B, 并且 UE 周期性地向 Node B 上报 SI。

Node B 在 E-HICH 上向 UE 返回 ACK/NACK 信息。

3 一种自适应的调度算法

在 3GPP R99 中, UE 传输速率的调度由 RNC 控制, UE 可用的最高传输速率在传输信道建立时由 RNC 确定。但是, RNC 无法根据小区负载和 UE 的信道状况变化灵活控制 UE 的传输速率。而在 HSUPA 中, 为了更好、更灵活地控制 UE 的传输速率, RNC 将调度工作下放到 Node B 进行。

在 WCDMA 系统中使用的是 FDD 模式, 由于多了 E-DCH 相对授权信道(E-RGCH, E-DCH relative grant channel)来辅助下行功率授权信息, Node B 通过控制 E-DCH 专用物理数据信道(E-DPDCH, E-DCH dedicated physical data channel)的最大功率比来控制 UE 的调度。

而在 TD-SCDMA 系统中使用的是 TDD 模式, Node B 不能直接决定 UE 传输块大小, 而是通过对 UE 的功率、时隙和码道资源的限制来控制 UE 的最大传输速率。Node B 根据 UE 上报的 SI、RoT 等情况, 通过调度算法来决定是否允许 UE 的调度请求。本文重点对调度算法进行研究, 提出了一种新的自适应调度算法。

传统的调度算法主要有最大 C/I 算法、轮询算

法和正比公平算法。

最大 C/I 算法始终选择信道条件最好的用户传输数据，这就使得系统的总体吞吐量达到最大，但是这种算法多数用户有可能得不到系统服务，公平性最差。

轮询算法不考虑信道情况，循环地调度每个用户，因此这种算法是最公平的，但是如果被调度到的用户信道条件差，就无法高速传输数据，所以这种算法的吞吐量是比较差的。

正比公平算法是目前所广泛采用的调度算法，它既考虑了用户信道条件，还考虑了公平性，达到了系统吞吐量最大化和用户公平性之间的一个折衷。其优先级计算式为

$$p_i(t) = \frac{(C/I)_i(t)}{R_i(t)} \quad (3)$$

其中， $(C/I)_i(t)$ 指第 i 个用户在 t 时刻的载干比；而 $R_i(t)$ 指该用户的平均传输速率。可以看出当用户连续被调度时 $R_i(t)$ 上升，使得优先级 $p_i(t)$ 下降。

但上述调度算法都无法适用于对时延要求高的业务，所以又提出了 M_LWDF 算法和 EXP 算法，这 2 种算法考虑了用户排队队列的时延情况，能够满足实时业务对时延的要求。

M_LWDF 算法的优先级表示为

$$p_i(t) = a_i w_i(t) \frac{r_i(t)}{R_i(t)} \quad (4)$$

其中， a_i 为时延相关约束因子； $w_i(t)$ 为对头时延； $r_i(t)$ 表示用户传输速率； $R_i(t)$ 表示用户平均传输速率。

EXP 算法的优先级表示为

$$p_i(t) = \frac{r_i(t)}{R_i(t)} \exp\left(\frac{a_i w_i(t) - \overline{aw}}{1 + \sqrt{aw}}\right) \quad (5)$$

其中， \overline{aw} 是所有用户平均加权分组头延时。

上述算法虽然可以较好地满足实时业务对时延的要求，但是，对于非实时业务来说过于复杂，本文提出了一种自适应调度算法，其调度过程如图 2 所示。

该算法的优先级表示为

$$p_i(t) = l_1 a_1 r_i(t) + l_2 a_2 R_i(t) + l_3 a_3 ch_{-p_i}(t) \quad (6)$$

其中， a_i 为系数，用于调整 $r_i(t)$ 、 $R_i(t)$ 和 $ch_{-p_i}(t)$ 的大小，使得在加权时某一项因子的作用不会过于明显； z_i 为权值，满足 $z_1 + z_2 + z_3 = 1$ ， z_i 越大，其对应的因子在

计算 $p_i(t)$ 时的贡献也越大； $r_i(t)$ 表示用户传输速率； $R_i(t)$ 表示用户平均传输速率； $ch_{-p_i}(t)$ 表示业务的优先级， $ch_{-p_i}(t) = R w_i(t) HLBS$ ，其中，当业务为实时业务时， R 为 1，否则为 0， $HLBS$ 表示最高优先级逻辑信道的缓存大小占总缓存大小的比例。

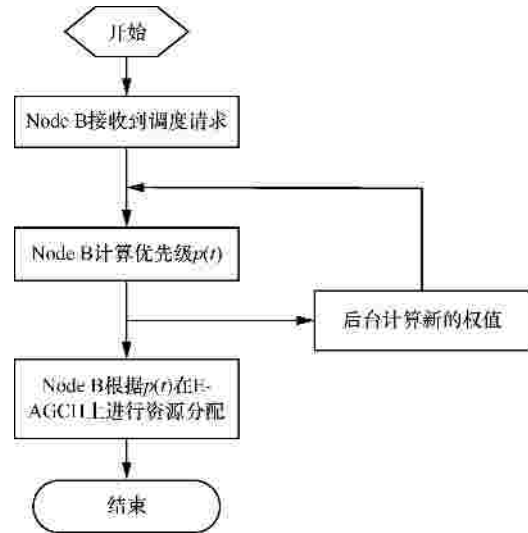


图 2 自适应调度过程

由于 TD-HSUPA 是根据不同的业务来映射不同优先级的逻辑信道，业务分为：会话类、流类、交互类和后台类。它们对时延的要求依次降低，会话类和流类业务被定义为实时业务，交互类和后台类被定义为非实时业务。

同时，网络端也根据不同网络情况，用遗传算法^[9,10]对 z_i 进行调整。其具体步骤如图 3 所示。

- 1) 计算所有用户平均加权的传输速率 $\overline{r_i(t)}$ 、平均传输速率 $\overline{R_i(t)}$ 和业务的优先级 $\overline{ch_{-p_i}(t)}$ 。
- 2) 以现有和过去的权值 z_i 作为初始种群，而不是随机生成初始种群，以提高计算的精确度和效率。
- 3) 进行二进制编码。
- 4) 计算初始种群的适应度，并找出适应度最高的染色体：

$$F_i(t) = \frac{l_1 b_1}{r_i(t)} + \frac{l_2 b_2}{R_i(t)} + \frac{l_3 b_3}{ch_{-p_i}(t)} \quad (7)$$

其中， β_i 为系数，作用同 a_{i0}

- 5) 进行选择运算，选出适应度高的染色体作为交叉运算的父体：

$$S_i(t) = \frac{F_i(t)}{\sum F_i(t)} \quad (8)$$

- 6) 进行交叉运算，交换 2 个父体的部分值得到

新的个体，如父体 $s_1=100101$ ， $s_2=010111$ ，则在交换后 $s_1'=010101$ ， $s_2'=100111$ 。

7) 以 0.01 的变异率进行变异运算，即将 0 变为 1，1 变为 0，得到新的染色体。

8) 计算所有的新染色体的适应度，找出适应度最高和最低的染色体，用原有最优染色体替换新的最差染色体，同时比较新的与原有的最优染色体，若优于原有最优染色体的适应度，则替代其值，若差于则进行计数。

9) 重复步骤 5)~8)，本文算法中最优个体参与了交换运算，如果计数值过小，就容易使其解逼近第二峰，由于该算法对计算时间要求不高，可以通过增加迭代次数来增加变异发生的概率，从而找到最优解^[11]，本文在计数超过 100 时结束遗传算法。

10) 调整权值 ρ_i 。

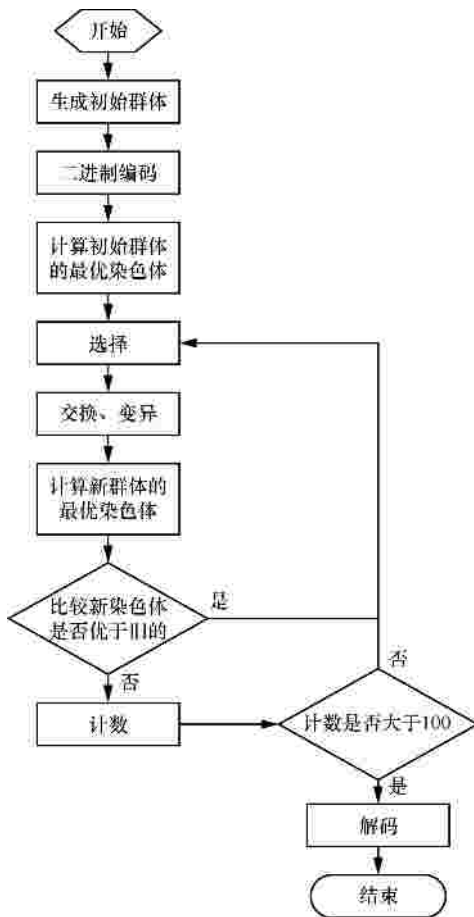


图 3 遗传算法

4 仿真结果

本文使用 Opnet 对 M_LWDF 算法和自适应算

法进行了仿真，比较了它们的吞吐量和公平性。仿真参数如表 1 所示。

参数	值	参数	值
载波频率	2GHz	仿真时间	10 000s
码片速率	1.28Mchip/s	TTI	5ms
小区用户	20	噪声系数	7dB
小区半径	500m	阴影衰落	8dB
RoT	7dB	基站接收分级	智能天线
天线增益	14.36dBi	联合检测因子	0.8
信道环境	PA3	热噪声密度	-174dBm
上下行时隙比例	3:3	业务模型	Full Buffer
小区布局	19 sites with wrap-around	HARQ 最大重传数	4
UE 最大发射功率	21dBm	UE 最小发射功率	-44 dBm
调度算法	自适应算法、M_LWDF 算法	路损模型	128.15+ 37.6·lg(d)dB

图 4 显示了 2 种算法的系统吞吐量随用户数量的变化情况。可以看出在用户数不多的时候，由于系统对公平性要求不高，本文算法增加了权值 ρ_1 (其值与吞吐量成正比) 的值，减小了 ρ_2 (其值与公平性成正比) 的值，使得吞吐量优于 M-LWDF 算法；而在用户很多的时候，由于系统对公平性要求加大，该算法减小了 ρ_1 的值，增加了 ρ_2 的值，虽然在吞吐量上进行了一定的牺牲，但是提高了公平性，保证各用户的 QoS。

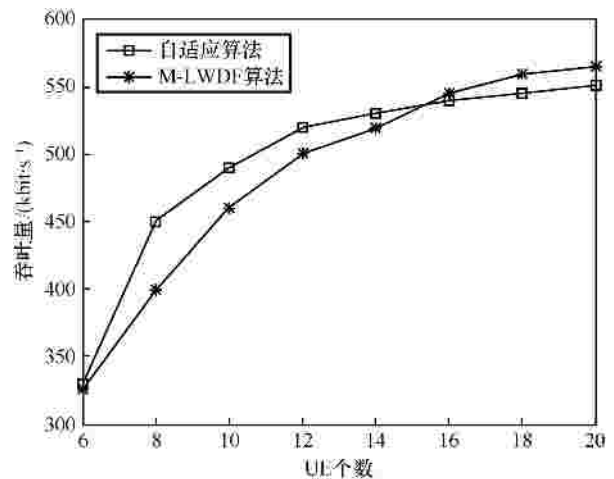


图 4 吞吐量比较

公平性准则是用各用户吞吐量归一化分布函数 (CDF, cumulative distribution function) 曲线来表示，如果用户 k 的吞吐量为 $T_{out}(k)$ ，相对于所有用户平均吞吐量的归一化吞吐量 $\overline{T_{out}(k)}$ 为

$$\overline{T_{out}(k)} = \frac{T_{out}(k)}{avg\{T_{out}(j)\}} \quad (9)$$

$j=1,L,K$

公平性准则由表 2 的 3 个点表示。

归一化吞吐量	CDF
0.1	0.1
0.2	0.2
0.5	0.5

该准则实质上是限制了低吞吐量用户占总用户数的比例，如低于 0.1 倍吞吐量的用户数不能超过总用户数的 10%。

图 5 显示了 2 种算法的系统公平性的比较。可以看出在有大量用户同时接入的时候，本文算法对吞吐量做了一定的牺牲，所以系统公平性在总体上要优于 M-LWDF 算法。

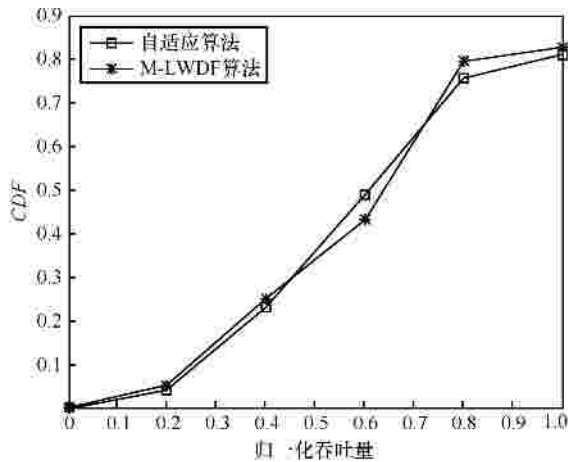


图 5 公平性比较

图 6 为用户数从 8 个增加到 12 个时，权值 λ_i 的变化情况。可以看出本文算法有很好的适应性，能够根据不同的网络环境改变权值 λ_i ，以达到最优化的调度。

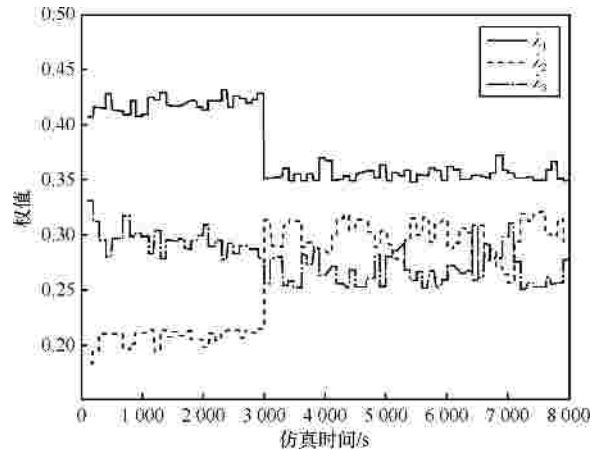


图 6 权值 λ 的改变

5 结束语

调度算法对于整个 TD-HSUPA 系统来说是一个很重要的环节，但是传统的调度算法不是没有考虑实时业务的 QoS，就是在复杂、多变的无线网络环境不能很好地进行资源分配。

本文针对 TD-HSUPA 系统，提出了一种自适应调度算法，算法综合考虑了吞吐量和公平性，以及业务的优先级，并通过遗传算法在后台调整加权权值，使其可以很好地适用于复杂、多变的无线网络环境中。该算法的复杂度并不高，因为遗传算法是在后台运算，不直接参与计算，并没有增加算法的复杂度。仿真结果表明，该算法能够更灵活地运用于调度环节。

参考文献：

[1] 常永宇. TD-HSPA 移动通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
CHANG Y Y. TD-HSPA Technology for Mobile Communications[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2008.

[2] 王民. 移动网络多媒体业务 QoS 保障关键技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2006.
WANG M. Studies on QoS Guarantee Technologies for Multimedia Services in the Wireless Networks[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2006.

[3] 冯光升, 王慧强, 马春光等. 面向认知网络的用户 QoS 动态自配置方法[J]. 通信学报, 2010, 31(3):133-140.
FENG G S, WANG H Q, MA C G, et al. Dynamic self-configuration of user QoS oriented to cognitive network[J]. Journal on Communications, 2010, 31(3): 133-140.

[4] 3GPP TR 25.851 V4.0.0: RAB Quality of Service Renegotiation over

lu[S]. 2001.

- [5] 宋舰, 李乐民. 无线网络中的分组调度算法[J]. 通信学报, 2003, 24(3): 42-48.
SONG J, LI L M. Packet scheduling algorithms in wireless networks[J]. Journal on Communications, 2003, 24(3):42-48.
- [6] 李佩英, 段红光. TD-SCDMA HSUP 系统中 E-TFC 选择的研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2009,21(1):6-9.
LI P Y, DUAN H G. Research of E-TFC selection in HSUPA TD-SCDMA system[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2009,21(1): 6-9
- [7] 3GPP TR 25.827: 1.28 Mcps TDD Enhanced Uplink, Physical Layer Aspects[S]. 2009.
- [8] 游思晴, 张京, 王亚峰等. TD-SCDMA HSUPA 基于系统 RoT 调度的干扰控制策略[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(11): 2561-2564.
YOU S Q, ZHANG J, WANG Y F, YANG D C. A novel intercell interference control based on scheduling for TD-SCDMA HSUPA[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2008,30(11): 2561-2564.
- [9] 戴晓晖, 李敏强, 寇纪淞. 遗传算法的性能分析研究[J]. 软件学报, 2001, 12(5): 742-750.
DAI X H, LI M Q, KOU J S. Study on the performance analysis of genetic algorithms[J]. Journal of Software, 2001, 12(5): 742-750.
- [10] YU Y, HUANG H. An ensemble approach to intrusion detection based on improved multi-objective genetic algorithm[J]. Journal of Software, 2007,18(6):1369-1378.
- [11] 何琳, 王科俊, 李国斌等. 最有保留遗传算法及其收敛性分析[J]. 控制与决策, 2000, 15(1):63-66.
HE L, WANG K J, LI G B, *et al.* Elitist preserved genetic algorithm and its convergence analysis[J]. Control and Decision, 2000, 15(1):63-66.
- [12] 3GPP TS 25.105: Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (TDD)[S]. 2010.
- [13] 3GPP TS 25.123: Requirements for Support of Radio Resource Management (TDD)[S]. 2010.
- [14] 3GPP TS25.101: User Equipment (UE) Radio Transmission Reception[S]. 2010.
- [15] 3GPP TR 25.863: Uplink Transmit Diversity for High Speed Packet Access (HSPA) [S]. 2010.

作者简介:



李方伟 (1960-), 男, 重庆人, 重庆邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为移动通信理论与技术、信息安全技术等。



王可 (1984-), 男, 重庆人, 重庆邮电大学研究生, 主要研究方向为移动通信理论与技术。

朱江 (1977-), 男, 重庆人, 重庆邮电大学讲师, 主要研究方向为移动通信理论与技术、认知无线电等。



陈善学 (1970-), 男, 重庆人, 重庆邮电大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为小波分析、图像处理、图像编码等。