

## TDD-CDMA 系统中一种带缓冲区的动态信道分配算法

李 沛 吴伟陵

(北京邮电大学信息工程学院 北京 100876)

**摘要:** TDD-CDMA 系统的上下行时隙的不对称性可以造成严重的交叉时隙干扰。为了降低交叉时隙的干扰,提出了带缓冲区的动态信道分配算法(PGBDCA),在把小区分成内部区和外部区的基础上,引入了缓冲区,专门用来处理增益门限值附近用户的时隙分配。使用静态系统仿真的方法对算法进行了仿真,结果表明 PGBDCA 算法与其他传统的动态信道分配算法比,它可以接入更多的用户,提高系统的性能。同时缓冲区的大小和位置也对系统性能有很大的影响。

**关键词:** 动态信道分配; 交叉时隙干扰; 路径增益; 缓冲区

中图分类号: TN914.53

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)07-1564-05

## A Dynamic Channel Allocation Based on Path Gain with Buffer for TDD-CDMA System

Li Pei Wu Wei-ling

(School of Information Engineering of Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** The TDD-CDMA system with unbalanced slot allocation between uplink (UL) and downlink (DL) will cause the cross-slot interference which may be inferior to system. In order to decrease the interference, a Dynamic Channel Allocation (DCA) based on path gain with buffer (PGBDCA) strategy is proposed. In PGBDCA, the cell is divided into three regions: besides inner and outer region, the PGBDCA introduce the buffer region to manage the slots in which path gain is near to threshold. With static system level simulation, the PGBDCA algorithm shows better performances than conventional algorithms in terms of the probability of the access users. The simulation result also shows the position and size of the buffer are the key factors that will influence on the performance of the system.

**Key words:** Dynamic Channel Allocation (DCA); Cross slot interference; Path gain; Buffer-region

### 1 引言

UMTS 包含 3 种主流技术: WCDMA (FDD和TDD), cdma2000(FDD)和TD-SCDMA(TDD)。TDD-CDMA<sup>[1]</sup>系统融合了TDMA和CDMA两种技术,并且规定上下行时隙可以不对称,这种不对称的特点既能高效地利用有限的无线资源,提高系统容量,又适合多媒体通信中上下行不对称的业务传输:例如在下载时,用户有时不需要上行时隙而只需要下行时隙或者需要少量的上行时隙和大量的下行时隙。而这种上下行不对称的特点在FDD-CDMA系统却无法实现,因为FDD-CDMA系统分配信道时是成对分配的,分配大量的下行链路的同时也给用户分配了相同数目的上行链路,即使这些上行链路在下载时几乎都是空闲的,因此FDD-CDMA系统信道利用率很低。而TDD-CDMA系统可以根据业务上下行不对称的特征动态的调整上下行时隙的切换点,从而达到对系统资源的有效利用。然而在TDD模式下,上下行时隙必须共用同一载频,因此如果小区间的上

下行时隙达不到完全同步时,就不可避免地在相邻小区之间产生交叉时隙干扰。这种干扰可以由图 1 说明。

图 1 说明了两种交叉时隙干扰:移动台间干扰和基站间干扰。这两种干扰是成对出现的。当移动台 A(B) 接收信息而移动台 B(A) 在相同载频发送信息时,移动台之间产生移动台间干扰。相同地,当基站 A(B) 发送信息而基站 B(A) 以相同的载频接收信息时,基站之间产生基站间干扰。文献[2]提出了最小干扰 DCA 算法,但是最小干扰 DCA 算法在实际应用中并没有体现出优越的性能。文献[3]提出了基于路径增益的 DCA 算法,该算法将时隙分为 own 和 borrow 时隙,

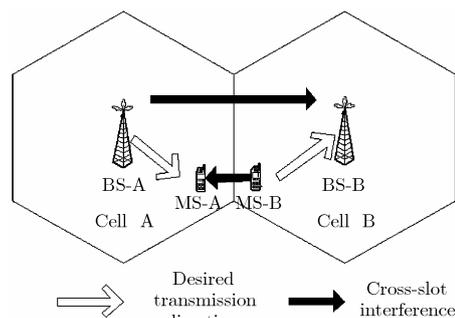


图 1 交叉时隙干扰

并且设定了路径增益门限值,当移动台与基站之间的路径增益小于设定的门限值,移动台就在 own 时隙里选择当前干扰最小的时隙,如果大于设定的门限值,移动台就在 borrow 时隙里选择当前干扰最小的时隙。但是当路径增益处在门限值上下时,移动台与服务基站的路径增益相差虽然很小,可是却可能分配属于不同类型的时隙。为了解决这个问题,本文提出了带缓冲区的 DCA 算法,算法把小区按照路径增益分为 3 个区域:内部区,缓冲区和外部区。其中缓冲区可以解决门限值上下移动台的时隙分配。处于缓冲区的移动台既可以选择 own 时隙也可以选择 borrow 时隙,选择的标准由两种时隙的负载决定。通过静态系统仿真方法对算法进行了仿真,仿真结果表明带缓冲区的 DCA 算法的性能要好于其他 DCA 算法。

本文的结构如下:第 2 节阐述了带缓冲区的 DCA 算法的内容。在第 3 节设置了仿真环境并对算法进行了仿真,给出了相应的结果。第 4 节是结束语。

## 2 带缓冲区的 DCA 算法

### 2.1 交叉时隙干扰的分析

图 2 给出了 TDD-CDMA 系统的帧结构。图中小区 A 中的时隙 3 和时隙 4 为下行时隙,而在小区 B 中时隙 3 和时隙 4 则是上行时隙。我们把时隙 3 和时隙 4 称之为交叉时隙。如图 2 所示,假设小区 A 和小区 B 相邻,在交叉时隙 3 和 4 内,基站 A 的发射功率可以对基站 B 的接收信息造成干扰,同时,小区 B 内的移动台也可以对小区 A 内的移动台造成干扰,如果两个移动台相隔很近,这种干扰就会很大,系统内的总干扰就会增大。由于 TDD-CDMA 系统属于干扰受限的系统,增大干扰就意味着容量的降低,如果不采取措施,那么这种干扰对 TDD 系统性能会造成很大的影响。我们把这两种干扰统称为交叉时隙干扰。常见交叉时隙干扰主要包括基站间干扰和移动台间干扰,他们只在小区间的上下行时隙不同步时才出现。在设计 DCA 算法时,需要采取措施将交叉时隙干扰尽量降到最低,这样既可以提高信道利用率又可以改善系统性能。CDMA 系统的干扰可以用式(1)表示:

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_{\text{own}} + I_{\text{other}} + N \\ I_{\text{other}} &= I_{\text{other\_cross}} + I_{\text{other\_noncross}} \end{aligned} \quad (1)$$

$I_{\text{total}}$  表示接收到的总干扰。 $I_{\text{own}}$  表示接收到的来自本小区内的干扰。 $I_{\text{other}}$  表示接收到的来自其他小区的干扰。 $N$  代表热噪声。 $I_{\text{other}}$  在 TDD-CDMA 中包括两部分:交叉时

UL	UL	DL	DL	DL	DL
Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6
UL	UL	UL	UL	DL	DL

图 2 TDD-CDMA 系统的帧结构

隙干扰( $I_{\text{other\_cross}}$ )和非交叉时隙干扰( $I_{\text{other\_noncross}}$ )。其中交叉时隙干扰是 TDD-CDMA 系统特有的,交叉时隙的干扰有两种类型:基站间的干扰和移动台间的干扰。基站间的干扰一般在受干扰基站的上行时隙中存在,而移动台间的干扰则在受干扰移动台所在基站的下行时隙中。在设计 DCA 算法时,重点要考虑交叉时隙的干扰。一般来说,如果基站发射功率较高,那么基站间的交叉时隙干扰增大,对系统性能的影响剧烈。为了分析方便,只研究业务时隙的干扰,而不考虑其他的时隙。假设系统中共有  $K$  个基站(小区),基站(小区)  $BS_k$  在时隙  $n$  受到来自其他基站(小区)  $j$  的干扰  $I_{BS_k,slot(n)}^{bs}$  和在小区(基站)  $k$  中的移动台  $MS_s$  受到来自其他移动台的干扰  $I_{MS_s,slot(n)}^{ms}$  可以分别由式(2),式(3)表示。

$$I_{BS_k,slot(n)}^{bs} = \sum_{j=1, j \neq k}^K I_{BS_j,slot(n)} = \sum_{j=1, j \neq k}^K (P_{tx\_BS_j,slot(n)} \cdot PG_{BS_j}^{BS_k}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} I_{MS_s,slot(n)}^{ms} &= \sum_{j=1}^K \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq s}}^{M^j} I_{MS_m^j,slot(n)} \\ &= \sum_{j=1}^K \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq s}}^{M^j} (P_{tx\_MS_m^j,slot(n)} \cdot PG_{MS_m^j}^{MS_s^k}) \end{aligned} \quad (3)$$

其中  $n$  表示第  $n$  个时隙,  $I_{MS_m^j,slot(n)}$  表示小区(基站)  $j$  中的移动台  $MS_m$  在时隙  $n$  对  $MS_s$  引起的干扰。 $I_{BS_j,slot(n)}$  表示第  $j$  个基站(小区)在时隙  $n$  对  $BS_k$  引起的干扰,  $M^j$  表示基站(小区)  $j$  中移动台数目。 $P_{tx\_BS_j}$  表示基站(小区)  $BS_j$  的发射功率,  $PG_{BS_j}^{BS_k}$  表示基站(小区)  $BS_j$  与  $BS_k$  之间的增益,包括天线增益和路径增益。 $P_{tx\_MS_m^j}$  表示移动台  $MS_m^j$  的发射功率,  $PG_{MS_m^j}^{MS_s^k}$  表示移动台  $MS_m^j$  到移动台  $MS_s^k$  的增益,包括天线增益和路径增益。在计算基站间干扰时,受干扰基站只有在上行时隙才有其他基站的干扰。如果基站(小区)  $j$  与  $BS_k$  的时隙同步,那么基站(小区)  $j$  在这个时隙的发射功率为 0,因此基站(小区)  $j$  在这个时隙对  $BS_k$  的干扰为 0。同理在计算移动台对移动台的干扰时,受干扰的移动台只有在基站的下行时隙才有移动台间的干扰。如果移动台间的时隙同步(都在基站的下行时隙),那么移动台的发射功率为 0,移动台间干扰也就不存在。如式(4),式(5)所示:

$$I_{BS_j,slot(n)} = \begin{cases} 0, & \text{基站在时隙 } n \text{ 内为上行时隙} \\ P_{tx\_BS_j} \cdot PG_{BS_j}^{BS_k}, & \text{基站在时隙 } n \text{ 内为下行时隙} \end{cases} \quad (4)$$

$$I_{MS_m^j,slot(n)} = \begin{cases} 0, & \text{移动台在时隙 } n \text{ 内处在基站的下行时隙} \\ P_{tx\_MS_m^j} \cdot PG_{MS_m^j}^{MS_s^k}, & \text{移动台在时隙 } n \text{ 内处在基站的上行时隙} \end{cases} \quad (5)$$

在 TDD 系统中为了更好的支持数据业务,往往要求上下行时隙不完全同步,因此交叉时隙的干扰一般在系统中是存在的。由文献[4, 5]可知, DCA 算法分配不同的时隙引起的干

扰差异非常大, 所以一个好的 DCA 算法给移动台分配合理的时隙是提高系统性能的有效途径。

## 2.2 带缓冲区的 DCA 算法的内容

为了降低交叉时隙的干扰, 首先就考虑通过 DCA 算法降低基站间的干扰。如果移动台距离基站比较远, 路径增益降低, 为了保证基站与移动台的正常通信必须相应地提高基站的发射功率, 由式(3), 过高的发射功率在交叉时隙里又会对其他基站产生较大的干扰。对于移动台来说情况也基本相似。如果在设计 DCA 算法时, 如果基站或移动台高发射功率所在的时隙为非交叉时隙, 而把基站或移动台较低发射功率所在时隙为交叉时隙, 虽然会产生交叉时隙干扰, 但是由于发射功率较低, 造成的交叉时隙干扰较小, 由此降低了系统的总干扰, 提高了系统性能。因此算法需要设定一个门限值来确定基站或移动台发射功率的高低, 由于发射功率与路径增益存在一定的关系, 所以在实际算法中以路径增益作为参考来衡量: 基于路径增益的算法<sup>[9]</sup>设定一个门限路径增益值, 当基站与移动台间的路径增益小于门限值时, 认为基站或移动台发射功率可能会很高, 如果分配给交叉时隙将会带来严重的交叉干扰。一般分配给非交叉时隙。如果基站与移动台的路径增益大于门限值时, 可以认为基站或者移动台发射功率较低, 可以分配交叉时隙。但是算法对于处于路径增益值附近的移动台没有给予特殊的考虑: 如果有两个移动台的路径增益处于门限值附近, 一个稍大于而另一个稍小于门限值, 即使他们的路径增加相差不大, 算法仍会把交叉时隙和非交叉时隙分别分配给两个移动台。因此, 对于路径增益处在门限值附近的移动台来说, 是不公平的。

本文提出的带缓冲区的 DCA 算法首先把一个小区分成 3 个独立的区域: 内部区, 缓冲区和外部区, 如图 3 所示, 靠近基站的区域为内部区, 靠近小区边界的区域为外部区, 缓冲区介于内部区和外部区之间。3 种区域的划分根据路径增益的值确定。算法预先设定了两个路径增益的门限: 门限 1 和门限 2, 并且假设门限 1 的值大于门限 2。凡是路径增益值大于门限 1 的区域属于内部区, 凡是路径增益值小于门限 1 而大于门限 2 的区域属于缓冲区, 凡是路径增益值小于门限 2 的区域属于外部区。在实际的环境中, 由于阴影效应的存在, 各个区域的形状是不规则的。具体情况视阴影衰落的情况而定。

同时, 我们按照图 2 把时隙分成两种类型: borrow 时

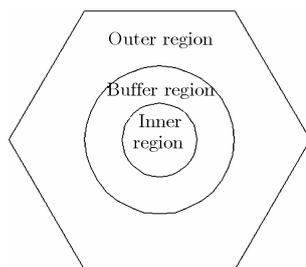


图 3 小区的 3 个区域图

隙和 own 时隙。交叉时隙干扰只可能发生在 borrow 时隙。在两种时隙内, 带缓冲区的 DCA 算法按照最小干扰的 DCA 算法给移动台分配时隙。带缓冲区的 DCA 算法如下:

(1) 计算每一个时隙的上行干扰(下行功率), 并且按照由小到大的顺序进行排序。own 时隙和 borrow 时隙分开计算和排序。

(2) 计算移动台到服务基站的路径增益。

(3) 如果移动台的路径增益大于门限 1, 则算法优先分配 borrow 时隙给该移动台。算法按照最小干扰(功率)优先的原则分配 borrow 时隙, 如果该时隙资源不足以满足该移动台, 则分配次小干扰(功率)的 borrow 时隙给移动台, 直到分配成功。如果所有 borrow 时隙都无法容纳移动台, 那么 DCA 检查 own 时隙有无可用资源, 如果有按照以上算法分配给移动台, 如果没有足够资源, 那么 DCA 就拒绝该移动台接入系统。

(4) 如果移动台的路径增益小于门限 2, 那么 DCA 算法只能分配 own 时隙给该移动台, 按照最小干扰(功率)的 own 时隙优先分配的原则进行。如果系统所有的 own 时隙都没有足够的资源分配给移动台, 那么系统就拒绝移动台接入。

(5) 当路径增益介于门限 1, 2 时, 分配 own 时隙还是 borrow 时隙根据两类时隙的负载情况决定。当 own 时隙的负载较轻, 或者 own 时隙和 borrow 时隙的负载都很重时, DCA 算法优先分配 own 时隙给移动台, 在 own 时隙内分配原则同上。当 own 时隙负载较重并且 borrow 时隙负载较轻或者 borrow 负载较重并且 own 时隙没有资源时, 系统分配 borrow 时隙给移动台, borrow 时隙分配原则同上。如果两种时隙资源都无法满足该移动台, 那么系统拒绝移动台接入。

## 3 仿真环境和结果

### 3.1 仿真环境

本文采用静态系统仿真的方法对带缓冲区的 DCA 算法进行仿真。只针对上行链路进行仿真, 对于下行链路, 可以参照上行链路。在仿真中采用的数据业务大小为 64kbps, 链路的目标 SNR 设为 -4.8dB。路径损耗根据式(6)<sup>[6]</sup>确定:

$$\text{pathloss} = 15.3 + 37.6 \cdot \log(R) \quad (6)$$

阴影衰落服从均值为 0, 方差等于 8 的对数正态分布。表 1 预先定义了各个小区的业务量。

表 1 小区的业务分布

小区号	上行时隙数	下行时隙数
1, 5	2	4
2, 4, 6	3	3
3, 7	4	2

时隙的配置参考 TD-SCDMA 的协议。对于协议中第 1 个时隙在仿真中不予考虑。从表 1 可知, 时隙 3 和时隙 4 属

于 borrow 时隙, 其他时隙属于 own 时隙。仿真参数的配置参照表 2。路径增益介于门限值 1 与门限值 2 的移动台属于缓冲区, 这两个值决定了缓冲区的大小和位置。系统模型采用 7 小区蜂窝结构, 为了精确计算小区间的干扰, 采用了 Wrap 技术保证在计算小区间干扰时, 都有 7 个相邻小区对其产生干扰。仿真首先生成 7 个蜂窝小区的系统, 在 7 个小区内均匀的生成一些移动台, 计算基站与移动台间的路径增益, 对每一个移动台进行切换, 选择相应的服务小区, 然后给基站或者移动台赋以初始发射功率, 进行动态信道分配, 分配时隙, 再进行功率控制, 直到系统稳定。最后统计系统内的正常用户与无法接入的用户, 分析系统的性能。

表 2 仿真参数

参数	值
基站最大发射功率 (dBm)	43
基站最小发射功率 (dBm)	3
移动台最大发射功率 (dBm)	21
移动台最小发射功率 (dBm)	-49
基站接收底噪 (dB)	-106
移动台接收底噪 (dB)	-104
正交因子	0.6
目标 SNR (dB)	-4.8
SNRtarget (dB)	13
门限 1 (dB)	110
门限 2 (dB)	130

3.2 仿真结果

为了说明带缓冲区的 DCA 算法的性能, 我们也仿真了最小干扰 DCA (LIDCA) 和路径增益的 DCA 算法 (PGDCA)。图 4 对 3 种算法下用户损失的比例进行比较。由图看出, 带缓冲区的 DCA 算法随着系统负载的增加显示出较好的性能, 特别是系统用户数超过 120 后, 性能最好。带缓冲区的 DCA 算法下的用户损失最小, 即在相同条件下, 该算法比其他两种算法接入的用户多。在系统负载较轻时, 该算法性能与其他两种算法相差不大。主要原因是由于在系统负载较轻时, 交叉时隙干扰的影响不明显, 就算交叉时隙干扰出现, 由于用户较少, 他们产生的干扰不足以对系统产生剧烈的影响。因此, 算法没有表现出良好的性能。但是当系统负载加重时, 交叉时隙干扰的作用就非常明显了, 如果没有抑制, 就会造成用户损失的上升。最小干扰 DCA 并没有对交叉时隙干扰进行抑制, 所以在负载重时, 性能下降很大。而其他两种算法针对交叉干扰专门进行抑制, 性能上有所提高。比较路径增益的 DCA 算法和带缓冲区的 DCA 算法, 在重负载时, 带缓冲区的 DCA 算法的性能要好于路径增益的 DCA 算法的性能, 因为带缓冲区的 DCA 算法在内部区和外部区之间增加了缓冲区, 对于缓冲区内的用户根据不同类型时隙的负载采用更合理的时隙分配原则, 体现了算

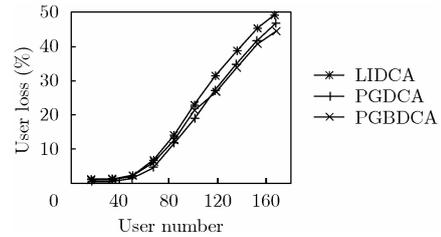


图 4 用户损失

法对于缓冲区内用户分配时隙的灵活性, 这可以使路径增益值在门限值附近的移动台能根据系统干扰尽量小的原则灵活地选择交叉时隙和非交叉时隙, 因此从整体上降低了系统总干扰, 增加了系统容量。相对于路径增益的 DCA 算法, 虽然多了一次门限值比较过程, 但是这个比较过程是在基站或移动台内部比较, 不需要额外信息的在系统实体间进行传递, 所以对系统的其他性能几乎没有影响。

图 5, 图 6 表明了门限 1, 门限 2 的取值对算法性能的影响, 门限值 1 和门限值 2 决定了缓冲区的位置与大小。图 5 中, 如果门限 1 的值设置过低, 缓冲区面积变大, 造成缓冲区的用户增多, 缓冲区用户会抢占原本分配给外部区专用的 own 时隙, 造成部分外部区用户无法使用 own 时隙, 而被迫使用 borrow 时隙, 迅速引起干扰的提高, 用户损失比例随之升高, 降低了系统的性能。而门限 1 设置过高, 内部区面积则变大, 也就意味着缓冲区离基站太远, 处在内部区并且临近缓冲区的用户在分配交叉时隙时也能产生较大的干扰, 所以也不会带来系统性能的显著提高。通过仿真, 我们发现当门限 1 的值在 110dB 左右时, 系统有较好的性能。图 6 表示出了门限值 2 的取值对算法性能的影响。通过曲线, 我们可以得出类似的结论: 过低或者过高的门限值 2 取值对系统的性能改善不大。只有门限 2 的值设置合理, 才能充分发挥系统的性能。在本文中仿真中, 当门限值 2 等于 130dB 时, 系统性能较好。由图 5, 图 6 可以得出结论: 缓冲区的大小和起始位置都对系统性能有较大的影响, 因此只有合理地分配缓冲区才能充分发挥 DCA 算法的性能, 接入更多的用户。

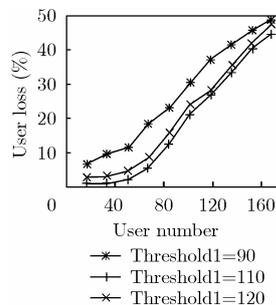


图 5 门限 1 对系统的影响

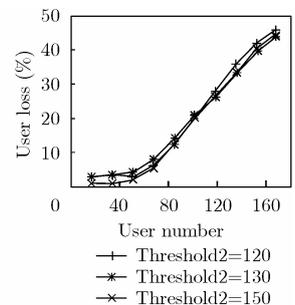


图 6 门限 2 对用户的影响

4 结束语

本文针对 TDD-CDMA 系统提出了带缓冲区的 DCA 算法, 该算法通过设置缓冲区, 对缓冲区内的移动台进行合理

的时隙分配,可以较好地抑制交叉时隙引起的干扰。仿真结果表明该算法的性能要优于本文提到的其他 DCA 算法。特别是在系统负载较重时,带缓冲区的 DCA 算法在相同环境下可以接入更多的用户。同时仿真发现在设定缓冲区的大小和位置时也要合适,只有这样才能充分发挥系统的性能。

### 参 考 文 献

- [1] Povey G J R and Nakagawa M. A review of time division duplex CDMA techniques, in Proc. ISSSTA'98, Sun City, South Africa 1998: 630–633.
  - [2] Shin S M, Cho Chepl-Hye, and Sung Dan Keun. Interference-based channel assignment for DS-CDMA cellular systems. *IEEE Trans. on Vehicula Technology*, 1999, 48(1): 233–239.
  - [3] Nasreddine J and Lagrange X. Time slot allocation based on a path gain division scheme for TD-CDMA TDD systems. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual, Dallas, TX, U.S.A 22-25 April 2003, Vol.2: 1410–1414.
  - [4] Holma H, Povey G J R, and Toskala A. Evaluation of interference between uplink and downlink in UTRA/TDD. Proceedings on VTC'99 Fall, Amsterdam, Netherlands, 1999: 2616–2620.
  - [5] Jeon W S and Jeong D G. Comparison of time slot allocation strategies for CDMA/TDD Systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(7): 1271–1278.
  - [6] 3GPP. Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS. TR 101 112 V3.1.0 (1997-11).
- 李 沛: 男, 1978年, 博士生, 研究方向为无线通信中的无线资源管理和网络层关键技术的研究。
- 吴伟陵: 男, 1938年, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为变参信道的信息传输、移动通信及信息理论与编码。