

移动高速数据包通信的模糊快速小区选择

单文浩, 范平志

(西南交通大学移动通信研究所, 四川成都 610031)

摘要: 在高速下行数据包接入(HSDPA)系统中, 软切换会给下行链路带来严重干扰, 降低链路容量. 3GPP 相关文档提出通过快速小区选择(FCS)来解决上述问题, 其中用户设备(UE)以导频信号强度作为选择通信小区的唯一依据. 为平衡小区间业务量, 本文结合导频信号强度、小区呼叫到达率和基站可用功率, 提出了模糊快速选择小区的算法(FFCS). 分析和仿真结果表明采用FFCS技术能有效提高业务量相对繁重小区的容量.

关键词: 高速下行数据包接入; 软切换; 快速小区选择; 模糊快速小区选择

中图分类号: TN929. 5 **文献标识码:** A **文章编号:** 03722112 (2004) 03048204

Fuzzy Fast Cell Selection in Mobile High Rate Packet Data Communication

SHAN Wenzhao, FAN Pingzhi

(Institute of Mobile Communications, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: In high speed downlink packet access (HSDPA) system, soft handoff may cause serious interference to the downlink, and reduce its capacity. In recent 3GPP proposals, fast cell selection (FCS) is proposed, where the user equipment (UE) selects the base station to communication only by the strength of the pilot signal. To balance the traffic in the different cells, an algorithm named fuzzy FCS (FFCS) considering signal strength, the rate of arriving calls and available power of the base station is put forward. The analysis and simulation results show that the capacity of cell with relative heavier traffic load can be improved efficiently by FFCS.

Key words: HSDPA; soft handoff; FCS; FFCS

1 引言

与硬切换相比, 软切换不仅能提高用户设备(UE)在小区边缘的通信质量, 使得呼叫在小区间更加平滑地转移, 同时也提高上行链路的容量^[1], 但软切换会在下行链路中给UE带来大概两倍的干扰^[2]. 在高速下行数据包接入(HSDPA)系统中, 上下行链路数据量相差较大且下行业务占主导地位, 软切换不再适用^[3, 4]. 对于系统容量受下行链路限制的CDMA系统而言, 引入过多的下行链路干扰无疑会减小系统容量. 文献^[5, 6]也认为在下行链路容量受限的系统中, 软切换既增加下行链路干扰, 还降低了RAKE接收机捕获路径的效率.

为了更有效、实时、充分地利用基站的发射功率、减小下行链路干扰以及提高整个系统的容量, UE需要对通信小区进行快速地选择(FCS)^[7]. 在FCS过程中, UE以帧为单位, 根据不同小区下行链路导频信道(CPICH)的信号强度来选择通话效果最好的小区. 与软切换不同, 尽管可提供服务的小区属于同一激活集, 但在任意时刻有且只有一个基站与UE进行通讯联系, 从而达到降低干扰和提高系统容量的目的, 这一点与SSDT相似^[9]. 进行快速小区选择还可保证处在小区边缘的UE具有相对较好的通信质量.

但进行FCS时, 系统不仅要考虑下行链路的电波传播特性, 还应考虑其它因素, 如各小区的可用功率、业务负载等, 这样有利于对系统呼叫流量的平衡. 文献^[8]提出利用下行链路广播信道来发送与激活集中各小区的可用功率、信道码距相关的信息, 使FCS的结果更加合理, 但文中没有任何的仿真和分析结果. 本文重点比较了运用软切换、FCS等技术对HSDPA系统容量的影响, 并提出一种有效的模糊FCS算法(FFCS). 分析和仿真结果表明在HSDPA系统中, FFCS算法能提高业务量相对繁重的小区的容量, 且小区间业务量相差越大, 该算法对小区容量的提高越明显.

2 HSDPA 传播模型及容量分析

2.1 蜂窝环境

本文中小区模型采用7小区复用. 为简化分析, 假设一个激活集只包括两个相邻小区. 同时由于实际环境中各小区业务量不均衡, HSDPA系统中各小区呼叫到达率也不尽相同.

2.1.2 阴影衰落模型

信号从基站*i*到达UE的传播损耗为 L_i , 正比于 $r_i^{-\alpha} 10^{N/10}$. 其中 r_i 为基站*i*到UE的距离, α 为路径损耗斜率, N 为该路径阴影衰落的分贝损耗, 它服从均值为0, 标准方差为

D的正态分布. N 与用户位置相关, 即地理上不同点的阴影衰落之间存在着一定的相关性, 该相关性可用下列模型表示^[9]:

$$N_{i,t} = QN_{i,t-s_t} + \sqrt{1-Q^2}N \quad (1)$$

其中 $N_{i,t}$ 为 t 时刻 UE 所在位置第 i 条路径的阴影衰落值; $N_{i,t-s_t}$ 为 UE 在上一个时刻的阴影衰落值, s_t 为时间间隔; $N_{i,t}$ 与 $N_{i,t-s_t}$ 相互独立, 并均为对数正态分布的随机变量, 其均值、方差根据仿真模型的要求确定. Q 为 $N_{i,t}$, $N_{i,t-s_t}$ 的相关系数. 它是一个与两点距离有关的函数, 可表示为^[10]:

$$Q = e^{-(s_x/d_{cor})^2} \quad (2)$$

其中 s_x 为两点间距离, d_{cor} 为相关距离. 假设 UE 静止或移动速度较低 (3km/h)^[11], 这样 Q 趋近于 1, 即 $N_{i,t}$ 与 $N_{i,t-s_t}$ 几乎相同. 因此可以认为在仿真过程中一旦确定了 N 的大小, 它就近似不变.

2.1.3 HSDPA 容量分析

假设各基站分配给所有业务信道的平均发射功率一致, 为 P_b , 第 m 个 UE 对应的业务信道分配的功率为 P_m ; N 为 UE 所在小区周围的干扰小区个数 (本文中只考虑中心小区外层的第 1 层 6 个干扰小区). 用户接收的信号干扰包括三部分: 小区基站向本小区内其它用户发送信号时产生的干扰 I_{in} ; 其它小区基站发送信号的干扰 I_{out} ; 背景噪声 (主要是热噪声) 的干扰 N_0W . N_0 为背景噪声密度, W 为带宽. R 为公共用户数据速率. I_{in} 和 I_{out} 可表示为:

$$I_{in} = K_0 \frac{P_b - P_m}{L_0} \quad (3)$$

$$I_{out} = \sum_{i=1}^N C_i \frac{P_b}{L_i} \quad (4)$$

其中, 信号从基站 0 到达 UE 的传播损耗为 L_0 , C_0 是 UE 所在小区的呼叫激活因子; C_i 是第 i 个干扰小区的呼叫激活因子. 此外, 由于多径传播效应的存在, 即使使用了正交编码, 同小区内码元也不可能完全正交, 所以存在着正交 (干扰) 因子 E , 假设 $E = 0.4$ (宏小区), $E = 0.06$ (微小区)^[10].

根据式 (3) 和 (4), 第 j 个 UE 从当前小区基站接收到 CPICH 信号的 SIR 为

$$SIR_j = \left(\frac{S}{I} \right)_j = \left(\frac{C}{I} \right)_j = \frac{\frac{P_m}{L_0}}{K_0 \frac{P_b - P_m}{L_0} + \sum_{i=1}^N C_i \frac{P_b}{L_i} + N_0 W} \quad (5)$$

由传播损耗模型, 第 j 个 UE 的比特能量与干扰密度之比为

$$\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_j = \frac{\frac{P_m}{L_0}}{K_0 (P_b - P_m) + \sum_{i=1}^N C_i \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^U 10^{(N_0 - N_i)/10} + N_0 W L_0} \frac{W}{R} \quad (6)$$

利用相对功率表示上式, 令 $A_m = P_m/P_b$, 得:

$$\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_j = \frac{A_m}{K_0 (1 - A_m) + \sum_{i=1}^N C_i \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^U 10^{(N_0 - N_i)/10} + N_0 W L_0 / P_b} \frac{W}{R} \quad (7)$$

假定此小区内所有 UE 均定位于同样的 (E_b/I_0) 的值

$(E_b/I_0)_t$, 以保证通信质量, 可以计算出 A_m .

$$A_m = \frac{\left(\frac{E_b}{I_0} \right)_t \left[K_0 + \sum_{i=1}^N C_i \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^U 10^{(N_0 - N_i)/10} + N_0 W L_0 / P_b \right]}{\frac{W}{R} + \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_t K_0} \quad (8)$$

显然当 UE 处在 A_{0i} 区域内时, A_m 必须满足下列关系 (k 为小区内被激活 UE 的数量, B 为公共信道传输的发射功率):

$$\sum_{m=1}^k A_m \leq B \quad \text{for } f(L_0, L_i) \quad (9)$$

当 $\sum_{m=1}^k A_m = B$ 时, k 就是当前小区能容纳 UE 的最大个数. 此外, 式 (9) 中 $f(L_0, L_i)$ 函数是 L_0 与 L_i 间需要满足的条件.

3 小区选择算法及其比较

3.1 软切换算法

由于信号的阴影衰落模型相同, 式 (9) 中 $f(L_0, L_i)$ 函数可以用 $f(SIR_i, SIR_0)$ 代替. 根据 Viterbi 在文献 [2] 中对软切换的描述, 当 UE 从基站 i 收到的 CPICH 信号强度 SIR_i 比从基站 0 收到的信号强度 SIR_0 低 6dB 时, 基站 i 就被激活; 而基站 0 将继续保持通信, 直至 SIR_0 比 SIR_i 低 6dB 时为止. 即下列三种情况:

$$\begin{cases} \text{选择小区 } i & \text{for } SIR_i - SIR_0 \leq 0 \text{ dB} \\ \text{选择小区 } 0 & \text{for } SIR_0 - SIR_i \leq 6 \text{ dB} \\ \text{同时选择小区 } 0 \text{ 和 } i & \text{for } 6 \text{ dB} > SIR_i - SIR_0 > -6 \text{ dB} \end{cases} \quad (10)$$

3.2 FCS 算法

根据文献 [3] 对 FCS 的描述, 当 SIR_i 大于 SIR_0 时, 基站 i 被激活, 基站 0 将停止对 UE 发送数据, 即下列两种情况:

$$\begin{cases} \text{选择小区 } i & \text{for } SIR_i - SIR_0 \geq 0 \\ \text{选择小区 } 0 & \text{for } SIR_i - SIR_0 < 0 \end{cases} \quad (11)$$

3.3 模糊 FCS 算法及其分析

FFCS 算法综合考虑了激活集中各小区的 SIR 值, 小区内已被占用的功率 sum 及其呼叫到达速率 ar , 最后对小区进行优化选择, 以达到平衡小区业务量的目的. 这个选择过程实际上是三个输入, 一个输出的判断过程, 对于这种从输入空间到输出空间的映射关系, 可以用模糊系统来描述, 其中的映射规则就是下面所提及的 FFCS 规则. 下面是一些重要的概念:

隶属度函数: 假定激活集为 A_{0i} , 三个输入变量分别为 $diff_sir$, $diff_sum$ 和 $diff_ar$. 按照合理、简单的原则, 本文对输入变量和输出变量的隶属度函数作如图 1~4 的设定. $diff_sir = sir_0 - sir_1$; $diff_sum = sum_1 - sum_0$; $diff_ar = ar_1 - ar_0$.

其中 sir_1 , sir_0 分别为 UE 从基站 1 和 0 接收到 CPICH 的 SIR 值 (单位为 dB); sum_1 , sum_0 分别为基站 1 和 0 已占用的功率; ar_1 , ar_0 分别为小区 1 和 0 中单位时间内呼叫到达的数量 (单位为 calls/min). 图 1 中 g 点的意义为: $diff_sir = -4$ dB 的情况隶属于集合 $\{SIR_1, SIR_0\}$ 的程度为 0.5, 隶属于集合 $\{SIR_1 > SIR_0\}$ 的程度也为 0.5 (符号 m_0 代表前者远大于后者; 符号 > 0 代表前者略大于后者; 符号 $= 0$ 代表两者几乎相等).

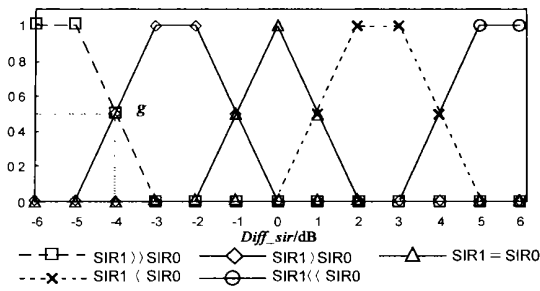


图1 输入变量 diff_sir 的隶属度函数

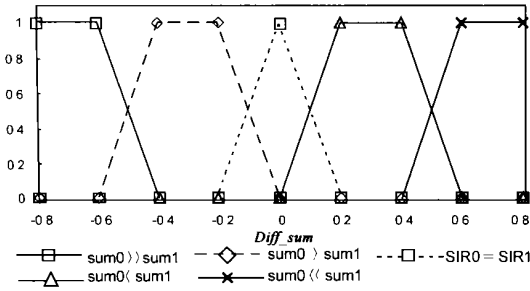


图2 输入变量 diff_sum 的隶属度函数

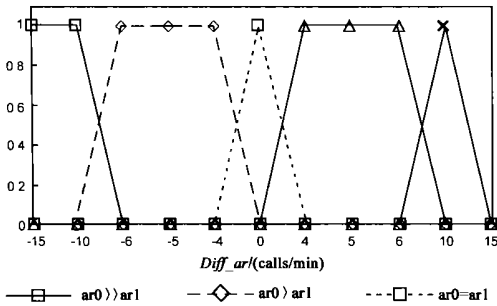


图3 输入变量 diff_ar 的隶属度函数

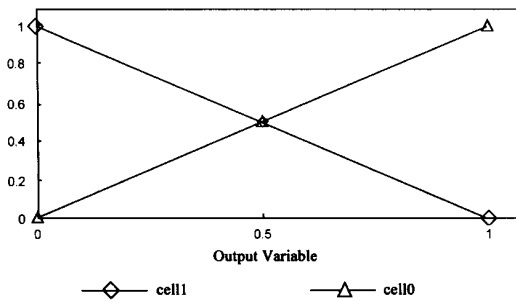


图4 输入变量 s 隶属度函数

模糊规则: 模糊算法中最重要的部分为模糊规则, 它表达了输入和输出变量间的关系. 本算法中模糊规则的形式为:

If diff_sir is A and diff_sum is B and diff_ar is C, then Q 其中 A, B 和 C 分别是三个输入变量所属的模糊集, Q 为结论. 在确定模糊规则时需要参考以下一些原则:

原则 1: 输入变量 diff_sir, diff_sum 和 diff_ar 的重要性依次递减, 即通话质量最为重要.

原则 2: 根据 diff_sir, diff_sum 无法选择小区时, 参考

diff_ar 进行选择. 如 $sir_1 > sir_0$ and $sum_0 < sum_1$ 时, 小区需要根据 diff_ar 来确定. 如果 $sir_1 > sir_0$ and $sum_0 < sum_1$ and $ar_0 < ar_1$ 时, 选择小区 0. 但如果 $ar_0 = ar_1$, 则按照原则 1, 选择小区 1.

原则 3: 为了保证用户的通信质量, 当 $sir_1 \sim sir_0$ 时, 选择小区 1; 当 $sir_0 \sim sir_1$ 时, 选择小区 0.

4 小区选择算法的仿真分析

参照文献[11], 同时考虑到各小区业务量的不均衡性, 本文对 HSDPA 系统中各参数作如表 1 的设定.

表 1 仿真参数列表

小区形状	传播模型	基站天线增益	$(E_b/I_0)_t$	激活因子	小区半径
正六边形	$L = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$	14 dB	-6~4 dB	0.6~1	2800 m
B	UE 天线增益	数据传输速率	W	N_0	ar_0
0.8	0 dB	2 Mbps	5 MHz	-169 dBm	18, 30 calls/min
ar_1	ar_2	ar_3	ar_4	ar_5	ar_6
12 calls/min	9 calls/min	7.2 calls/min	12 calls/min	9 calls/min	7.2 calls/min

根据上述参数和仿真条件, 本文利用 Matlab 6.0 对小区 0 的容量进行了仿真分析, 其结果如图 5, 6 所示(其中图 5: 图例括号中的数字代表不同的激活因子; 图 6: 图例括号中的数字代表不同的呼叫到达率, 单位为 calls/min). 当呼叫到达率一定时, 无论激活因子为 1 或 0.7 时, 模糊 FCS 算法均能提供最大的小区容量(图 5), FCS 次之, 软切换最小. 这是因为模糊 FCS 在保证 UE 具有足够通信质量的同时, 综合考虑了多种影响容量的因素, 使得业务量最繁重的小区能根据给定的模糊规则, 将其中的部分业务量合理分配到各相邻小区中, 充分利用其它小区的空闲资源.

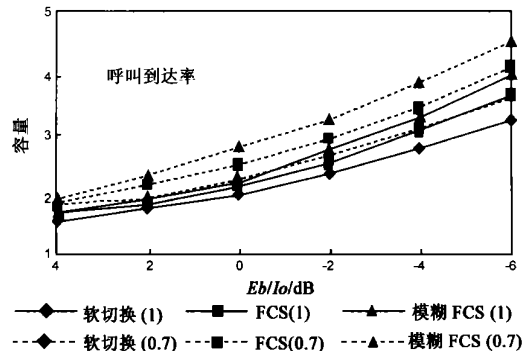


图 5 不同激活因子条件下小区选择算法对小区容量的影响

相对于小区内部呼叫而言, 小区边缘的呼叫业务需要更大的 P_m . 正是由于业务量较小基站的支持, 减少了业务量较大基站的功率消耗, 从而提高了后者所在蜂窝的容量. 此外, 小区如果具有较低的激活因子, 也会减小下行链路的干扰和

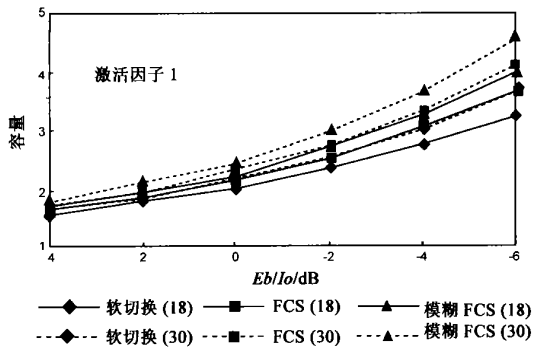


图6 不同呼叫到达率条件下小区选择算法对小区容量的影响

P_m , 增加蜂窝容量. 一旦 HSDPA 中自适应调制编码(AMC)和混合自动重传(HARQ)等技术得以运用, 在保证一定通信质量的前提下, UE 对 E_b/I_0 要求进一步降低, 蜂窝容量也会相应提高(图 5, 6).

当激活因子和相邻小区的呼叫到达率一定时, 随着当前小区呼叫到达率的增加(18calls/min 到 30call/min), 即系统负荷由轻到重时, 三种算法均能在一定程度上提高容量(图 6). 这是因为更多的呼叫能通过小区选择及时切换到相邻小区, 这种业务量的平衡势必会提高业务量繁重小区的容量. 三种算法中, FCS 算法依然能得到最大的小区容量. 这说明各小区业务量相差越大, FCS 就越能有效提高业务量相对繁重小区的容量. 但是当呼叫到达率足够大时, 小区容量的提高将无法弥补服务质量(呼叫阻塞概率和切换失败概率)的降低, 如何找到二者间的折衷点, 我们将在以后进一步研究.

5 结论

与软切换相比, FCS 大大降低了下行链路的干扰, 从而提供了更大的小区容量. 但在实际蜂窝环境中, 各小区的业务量不均, 甚至相差较大, 此时可以通过合理的控制手段使得整个系统的业务量能够尽量均衡. 本文提出的模糊 FCS 算法综合考虑了 UE 所处激活集中各小区 CPlCH 的 SIR 值, 基站占用的功率及其呼叫到达率, 最后对小区进行优化选择, 上述数据的获得并不困难, 因此实现较为容易. 仿真分析结果表明 FCS 算法能有效提高业务量相对繁重小区的容量.

参考文献:

- [1] A J Viterbi, A M Viterbi, K S Gilhousen, E Zehavi. Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity[J]. IEEE J Select Areas Commun, 1994, 12(8): 1281- 1288.
- [2] A J 维特比. CDMA 扩频通信原理[M]. 李世鹤, 等, 译. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [3] Motorola. Details of High Speed Downlink Packet Access[EB/OL].

http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_07/Docs/Pdfs/, 2000- 03- 14.

- [4] Samsung Electronics Ltd. Power Control for Fast Cell Selection in HSDPA[EB/OL]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSR1_11/Docs/PDFs/, 2000- 1- 10.
- [5] H Furukawa, K Hojiri, A Ushirokawa. SSDLT site selection diversity transmission power control for CDMA forward link[J]. IEEE J Select Areas Commun, 2000, 18(8): 1546- 1553.
- [6] L Song, J M Holtzman. CDMA dynamic downlink power control[A]. O. Shaughnessy. Proc IEEE VTC. 98 [C]. Ottawa: IEEE Publication, 1998. 1101- 1105.
- [7] Motorola. High2Speed Downlink Packet Access [EB/OL]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSR1_13/Docs/PDFs/, 2000- 05- 10.
- [8] Lucent Technologies. Downlink and Uplink Channel Structures for HSDPA[EB/OL]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSR1_17/Docs/PDFs/, 2000- 09- 20.
- [9] Di Huo. Simulation slow fading by means of one dimensional stochastic cal process[A]. O. Shaughnessy. Proc IEEE VTC. 96 [C]. Atlanta: IEEE Publication, 1996. 620- 622.
- [10] UMTS 30. 03/1998, Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS[S].
- [11] Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access [EB/OL]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.848/, 2001- 01- 15.

作者简介:



单文浩 男, 1974 年 5 月出生于湖北, 分别于 1996、1999 和 2002 年在西南交通大学获得工科学本科、硕士和博士学位. 现已发表及录用学术期刊、国际会议论文 10 余篇, 参加数项国家级和企业科研项目. 主要研究兴趣包括第三代移动通信系统相关领域的增强技术, 话务流量分析, 频谱资源管理、排队论和调度算法等.



范平志 男, 1955 年 12 月出生于四川, 工学博士(英国), IEEE 高级会员, 西南交通大学教授、博士生导师, 英国 Leeds 大学和上海交通大学客座教授. 出版英文专著和主编英文论文集各 1 本, 中文书 3 本, 在国内外杂志和学术会议发表论文 150 余篇, 完成发明专利 10 项, 主持和参与主持多个国际学术会议, 主持多项国际合作和国家级科研项目. 主要研究兴趣为无线通信与移动计算、码分多址通信、序列设计与编码、信息安全等领域, 个人主页 <http://home.swjtu.edu.cn/~imc/pzfán/>.