

无线移动通信系统中的高效信道借用算法研究

秦好亮, 曹达仲

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 本文将固定信道分配(Fixed Channel Assignment)和动态信道分配(Dynamic Channel Assignment)相结合, 提出了一种高效信道借用算法 HEBCA(High Efficiency Channel Borrowing Algorithm). 它利用预期信道可用率(Expected Future Channel Availability Rate)衡量信道借用对周围小区的影响, 针对信道借用发生和信道借用结束设计了两种重排操作. 计算机仿真表明, 本算法的阻塞概率低于 BDCL(Borrowing with Directional Channel Locking), 对改善 FCA 在业务量低端的性能很有帮助. 本算法的信道重排比率(Channel Reallocation Ratio)也明显低于 BDCL.

关键词: 信道分配; 信道借用; 信道重排

中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2001)10-1323-04

Research on High Efficiency Channel Borrowing Algorithm in Wireless Mobile Communication System

QIN Hao liang, CAO Da zhong

(School of Electronics and Information, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the study of Fixed Channel Assignment and Dynamic Channel Assignment, we bring up a new High Efficiency Channel Borrowing Algorithm. It employs the concept of Expected Future Channel Availability Rate to evaluate the effect of channel borrowing on adjacent cells. It includes two channel reallocation procedures to avoid collision. Computer simulation shows that this algorithm has lower Blocking Probability than BDCL(Borrowing with Directional Channel Locking). The Channel Reallocation Ratio is also lower than that of BDCL.

Key words: channel assignment; channel borrowing; channel reallocation

1 引言

解决信道分配问题的方案可以分为固定信道分配和动态信道分配. 固定信道分配缺乏对业务量变化的自适应能力和对突发业务的适应能力. 纯粹的 DCA 算法中任意一个信道可以为任意一个小区使用, 因此 DCA 在轻业务负荷下的阻塞概率低于 FCA, 而在重业务负荷下 DCA 方案的阻塞概率比较高. 本文综合 FCA 和 DCA 的特点, 提出了一种 HEBCA. 在重业务负荷下, 具有 FCA 的全局优化的特点; 在轻业务负荷下, 对突发业务也有很好的适应能力. 与 BDCL(Borrow with directed channel locking) 相比, 它具有更小的阻塞概率和更低的信道重排概率, 可以有效地减少信道重排的次数.

2 高效信道借用算法原理

本算法的执行包含两个阶段: 第一阶段是进行普通的信道分配: 发生新的呼叫时, 首先在本小区的固定信道(FC, Fixed channel) 中选出序号最低的空闲信道进行分配, 如果没有 FC 空闲, 就按照一定的选择准则, 从相邻的小区中请求一个可借用信道(BC, Borrowable channel). 第二阶段是对信道重

排以提高蜂窝通信系统的整体效率. 它包括: 提高被锁定信道(Locked channel) 利用率的操作和提高信道重用效率的操作.

本文中, 每个小区 i 有一个锁定小区列表 LCL(Locking cell list), 对小区 i 可用的每一个信道 j (既可以是 FC, 也可以是 BC), LCL_{ij} 记录了禁止小区 i 使用信道 j 的所有小区的集合, 称之为禁止小区 I 使用信道 j 的禁止小区(forbidding cells), 即信道 j 分配给小区 i 的一个呼叫(call) 时, 就禁止了同信道复用距离内的所有小区 k 使用信道 j . 当信道 j 被小区 i 释放时, 对同信道复用距离内所有小区 k , 从 LCL_{kj} 中将小区 i 删除.

2.1 普通的信道分配

当 FC 不足以满足新呼叫(New call) 或越区切换产生的呼叫(Handover call) 时, 需要从临近小区借用信道, 借用信道时要综合考虑临近小区当前的信道状况和临近小区的当前的业务量. 为此定义 EFCAR 为 $EFCAR = EFN_k / N_k$, 其中 $EFCAR_k$ 为小区 k 中下一个呼叫到达时空闲的 FC 的数目, N_k 为分配给小区 k 的信道的数目.

$$EFN_k = \sum_{\forall FC, BC \in L_k} p_{kl} \quad (1)$$

式中, p_{kl} 为小区 k 中信道 l 的预期信道可用率, 即小区 k 中下一个呼叫到达时信道 l 空闲的概率. 显然精确地计算 p_{kl} 是很困难的, 因此, 可用小区 k 中下一个呼叫到达时信道 l 被所有的锁定小区释放的概率 \bar{p}_{kl} 来近似 p_{kl} .

本算法中, 假定新呼叫和越区切换产生的呼叫为相互独立的泊松过程. 新呼叫和越区切换呼叫的服务时间呈负指数分布. 这里, 越区切换不包括信道重排所引发的信道使用状况的变化. 对于小区 k , 新呼叫到达的速率为 λ_k^0 , 越区切换产生的呼叫为 λ_k^h , 对应的新呼叫和越区切换呼叫的平均服务时间 (Mean Service Time) 分别为 $1/\mu_k^0$ 和 $1/\mu_k^h$. 可以得到

$$\begin{aligned} p_{kl} &\approx \bar{p}_{kl} = P\{Y < X_k\} = \int_0^{\infty} P\{Y < X_k | X_k = x\} \lambda_k e^{-\lambda_k x} dx \\ &= \int_0^{\infty} P\{Y < x\} \lambda_k e^{-\lambda_k x} dx = \int_0^{\infty} \prod_{s \in L_{kl}} (1 - P\{Y_s \geq x\}) \lambda_k e^{-\lambda_k x} dx \\ &= \int_0^{\infty} \prod_{s \in L_{kl}} (1 - e^{-\mu_s x}) \lambda_k e^{-\lambda_k x} dx = \int_0^{\infty} \prod_{s \in L_{kl}} (1 - \sum_{t \in L_{kl}} e^{-\mu_t x}) \\ &\quad + \sum_{s \in L_{kl}} e^{-(\mu_s + \mu_t)x} + \dots + (-1)^{|L_{kl}|} e^{-\sum_{s \in L_{kl}} \mu_s x}) \lambda_k e^{-\lambda_k x} dx \\ &= \lambda_k \left(\frac{1}{\lambda_k} - \sum_{s \in L_{kl}} \frac{1}{\mu_s + \lambda_k} + \sum_{s, t \in L_{kl}} \frac{1}{\mu_s + \mu_t + \lambda_k} + \dots \right. \\ &\quad \left. + (-1)^{|L_{kl}|} \frac{1}{\sum_{s \in L_{kl}} \mu_s + \lambda_k} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

式中: Y 为呼叫到达时间; X_k 是小区 k 中信道 l 被所有锁定小区释放的时间, x 是系统的时间, 用 $P\{Y < X_k\}$ 表示呼叫在信道 l 被释放后到达的概率, 即小区 k 的新呼叫对信道 l 的利用率; S 是所有禁止小区 k 使用信道 j 的小区集合中的一个小区; Y_s 表示小区 S 新呼叫到达的时间, 用 $P\{Y_s \geq x\}$ 表示小区 S 的新呼叫在小区 k 的新呼叫到达之前再次占用信道 l 的概率, 如果在 x 之前没有任何 S 小区的呼叫占用信道 l , 则信道 l 可以被小区 k 的新呼叫使用, 所以 $P\{Y < x\} = \prod_{s \in L_{kl}} (1 - P\{Y_s \geq x\})$. 令 $\lambda_k = \lambda_k^0 + \lambda_k^h$, 如果呼叫是在小区 S 中产生的新呼叫, 则 $\mu_s = \lambda_k^0$; 如果呼叫为越区切换产生的呼叫则 $\mu_s = \lambda_k^h$; L_{kl} 为 L_{kl} 的元素组成的集合, $|L_{kl}|$ 为 L_{kl} 中元素的个数. 根据概率理论, 两个速率为 λ_k^0 和 λ_k^h 的相互独立的泊松过程的和也是一个泊松过程, 此过程到达率为 $\lambda_k^0 + \lambda_k^h$. 在本算法中将用式(1)、(2)结合估计预期信道可用率的值.

在小区的 FC 不能满足需要时, 要借用哪一个信道需综合考虑被借用小区的空闲信道数和业务量, 显然, 借用信道将对复用距离之内的小区发生影响, 我们希望这种影响越小越好, 为此定义这种影响力

$$impact = \sum_{\forall k \in S_j} (1 - EFN_k / N_k)^p \quad (3)$$

式中: S_j 为信道 j 在小区 i 的复用距离之内的禁止小区的集合. 这个值代表了小区 i 借用信道 j 对系统产生的负面影响.

参数 p 为惩罚因子, 其作用是提高预期信道可用率较低的小

区的影响. 当可借用信道不止一个时, 计算各个可借用信道的影响值, 选择其中影响值最小的信道借用. 这样, 系统的阻塞概率就得到了优化.

2.2 信道重排

第二阶段的信道重排操作包括两种: 提高被锁定信道利用率的操作和提高信道重用效率的操作. 由于 DCA 不具有全局优化的特性, 因此对 DCA 的结果进行重排可以降低呼叫被阻塞的概率. 有很多文献^[1-3]对信道重排算法进行了研究, 在此基础上, 我们提出了两种信道重排操作:

(1) 操作 A: 面向被锁定信道的重排 (Reallocation for Locked-Channel Utilization)

当新的呼叫到达时, 如果小区 i 的 FC 和 BC 中都没有空闲信道, 操作 A 检查小区 i 的 FC 和 BC 中是否有只被一个小区锁定的信道, 如果存在这样的信道, 就要求锁定小区重排信道以释放被锁定的信道. 如果成功, 被锁定的信道就分配给新的呼叫使用.

操作 A 的执行步骤如下:

Step 1: 在被锁定的信道 j 中选择只有一个锁定小区的信道, 当这样的信道不唯一时, 按照以下的优先级选择:

(a) 被锁定的信道为 FC, 锁定小区中有空闲的固定信道 FC.

(b) 被锁定的信道为 FC, 锁定小区中有空闲的可借用信道 BC.

(c) 被锁定的信道为 BC, 锁定小区中有空闲的固定信道 FC.

(d) 被锁定的信道为 BC, 锁定小区中有空闲的可借用信道 BC.

Step 2: 通知锁定小区将占用信道 j 的呼叫转移到空闲的 FC 或 BC 上, 如果有不唯一的空闲 FC 或 BC, 通过第一阶段的基于影响力 (Impact Oriented) 的准则选择一个空闲信道, 这样小区 i 的信道 j 就成为空闲信道, 可以分配给等待序列中的呼叫使用.

(2) 操作 B: 面向信道复用的重排

操作 B 的执行步骤如下:

Step 1: 当小区 i 中一个 FC 被释放时, 进行重排操作 B. 首先小区 i 检查是否有 BC 被占用, 如果没有, 则根据当前 FC 的使用情况决定是否对 FC 进行按序重排; 如果有 BC 被使用, 就将某一个 BC 上的呼叫转移到刚刚释放的 FC 上.

Step 2: 如果小区 i 中被使用的 BC 不唯一, 希望释放一个 BC, 使得其相邻小区中信道最紧张的小区优先得到空闲信道, 也就是说, 系统的紧张状况得到最大程度的缓解. 我们将这种影响定义为

$$relief = \sum_{\forall k \in S_j} (1 - EFN_k / N_k)^p \quad (4)$$

式中: S_j 为小区 i 的复用距离内禁止小区 i 使用信道 j 的禁止小区的集合; p 为正整数常量, 作用是提高信道可用率较低的小区的影响. 显然, 希望在小区 i 中所有被使用的 BC 中, 选择 Relief 值最大的 BC 转移呼叫.

3 高效信道借用算法的计算机模拟

仿真采用 7×7 的正六边形蜂窝系统结构. 同信道复用距离为 $\sqrt{21}R$, R 是蜂窝小区的半径, 设定 $R = 2$. 因为第二阶段有两种重排操作, 文中设计了两种方案:

方案 1(HEBCA-A): 第二阶段中仅仅采用操作 A.

方案 2(HEBCA-AB): 第二阶段中同时采用操作 A 和操作 B.

在计算机仿真中假定新呼叫和越区切换产生的呼叫具有相同的平均业务时间, 即: $1/\mu_k^c = 1/\mu_k^h$. 因为负指数分布的无记忆特点, 所以这种假设是合理的. 对于负指数分布不成立的情况, 文献[4~6]进行了细致的分析. 这种情况的产生是因为蜂窝小区的结构和移动台的移动特性而形成的, 与信道分配算法无关. 沿用文献[7、8、6]的研究方式, 将新呼叫和越区切换产生的呼叫同等对待, 定义总呼叫到达率 $\lambda_k = \lambda_k^c + \lambda_k^h$. 这样, 问题的参数就由四个减少到了两个: $\lambda_k (= \lambda_k^c + \lambda_k^h)$ 和 $\mu_k (= \mu_k^c = \mu_k^h)$. 令 $1/\mu_k^c = 1/\mu_k^h = 3\text{min}$, 所用到的蜂窝小区的结构如图 1 所示. 图中的数字表示各个小区的呼叫到达率, 从 20calls/h 到 200calls/h.

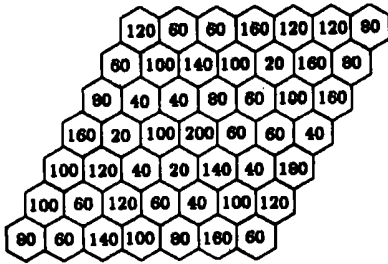


图 1 蜂窝小区的结构和各小区的业务量分布

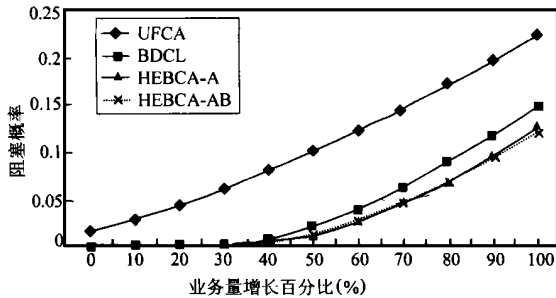


图 2 信道均匀分布下均匀业务量的阻塞概率比较 ($M = 70$)

首先考虑业务量均匀分布的情况, 设定每个小区的呼叫到达率为 100, 可用的信道总数为 70. 仿真的结果如图 2 所示, 图中 UFCA (Uniform FCA) 指在均匀业务量蜂窝系统中用 FCA 的分配方案, BDCL 指信道有向锁定的信道借用方案 (Borrowing with Directional Channel Locking Scheme). 由图可以看出, 在所有的算法中 HEBCA-AB 的阻塞概率最低, HEBCA-A 的阻塞概率也低于 UFCA 和 BDCL.

下面讨论在信道均匀分配的蜂窝系统中, 不均匀业务量分布的阻塞概率随业务增长的变化情况. 业务量分布如图 1 所示. 由图 3(a) 可见, 在所有的算法中 HEBCA-A 的阻塞概率最低, HEBCA-AB 的效率也高于 UFCA 和 BDCL. 图中, 横轴为

业务量增长的百分比; 纵轴为不同业务量下的阻塞概率.

对同样的蜂窝系统, 据文献[8]的算法按照实际的业务量分配各个小区的信道. 对图 1 的不均匀业务量分布, 阻塞概率随业务增长的变化如图 3(b) 所示. 由图可见, 在所有的算法中 HEBCA-A 的阻塞概率最低, HEBCA-AB 的效率也高于 UFCA 和 BDCL. 图中横、纵轴的意义同图 2 的定义.

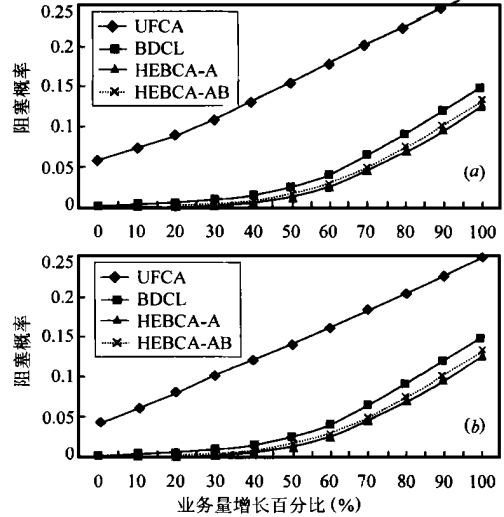


图 3 信道均匀分布(a)和信道不均匀分布(b)不均匀业务量的阻塞概率比较 ($M = 70$)

由于频繁的信道重排极大地增大了基站和移动台的负担, 因此在本算法中, 减少信道重排的次数也是一个重要的目标, 图 4(a) 和图 4(b) 分别是图 3(a) 和图 3(b) 情况下的信道重排比率. 信道重排比率是指发生信道重排的次数与蜂窝系统信道借用的总数的比值, 它是一个标量. 图 4 中, 横轴为业务量增长的百分比; 纵轴为不同业务量下的信道重排比率. 由于 UFCA 方案没有信道借用, 它的信道重排比率始终为 0, 所以在图 4 中省略了 UFCA 对应的曲线. 由这两个图可以看出, HEBCA-A 的信道重排比率要远低于其他两种方案.

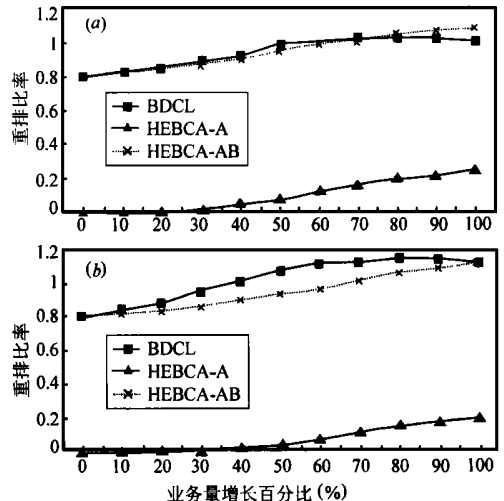


图 4 信道均匀分布(a)和信道不均匀分布(b)不均匀业务量的信道重排比率 ($M = 70$)

比较图 3(b)和图 3(a)可以看出,图 3(b)的阻塞概率普遍地低于图 3(a)中的对应值.于是可以得出结论,BCA 算法和 FCA 算法是相辅相成的:BCA 算法提供了对业务量变化和突发业务的灵活的适应能力,针对业务量分布采用 FCA 可以减少 BCA 的运算次数,降低系统的阻塞概率.由图 4(a)和图 4(b)还可以看出,针对业务量分布采用 FCA,信道重排的次数也降低了,显然,给业务量大的小区提供更多的信道,可以减少信道借用和信道重排几率.

4 结论

分别对信道均匀分配和不均匀分配情况下均匀业务量分布和非均匀业务量分布的情况进行了计算机仿真.仿真的结果表明:本算法的阻塞概率普遍低于 FCA 和 BDCL,其中 HEBCA-A 的信道重排比率也远低于 BDCL.在所有的仿真曲线中,只有信道均匀分布、业务量均匀分布($M=70$)的情况下,HEBCA-AB 的阻塞概率低于 HEBCA-A 的阻塞概率;对其他的情况,HEBCA-A 的阻塞概率要优于 HEBCA-AB.由于实际系统中往往信道和业务量都不是均匀分布,所以 HEBCA-A 更有实际价值.

对信道重排比率曲线的分析表明:HEBCA-A 引入的信道重排的可能性较 HEBCA-AB 更低.可以预见,HEBCA-A 算法与其他优化固定信道分配算法相结合,可以进一步逼近蜂窝移动通信系统的容量极限,提供更快更好的服务.

参考文献:

- [1] Ming Zhang, Tak-Shing P Yum. Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone system [J]. IEEE Trans Veh. Technol., Nov. 1989, 38(4): 211- 215.
- [2] S S Kuck, W C Wong. Ordered dynamic channel assignment scheme with reassignment in highway microcells [J]. IEEE Trans Veh. Technol., 1992, 41: 271- 277.
- [3] K Nakano, M Sengoku, T Takahashi, et al. Rearrangement methods of dynamic channel assignment in cellular mobile systems [J]. IEICE Trans. Fundamental, 1992, 40: 1259- 1269.

- [4] E Del Re, R Fantacci, G Giambene. Handover and dynamic channel at location techniques in mobile cellular networks [J]. IEEE Trans Veh. Technol., 1995, 44: 229- 237.
- [5] C L I, P H Chao. Local packing- Distributed dynamic channel allocation at cellular base station [A]. IEEE Proc. GLOBALCOM [C], 1993: 293 - 301.
- [6] T S Yum, K L Yeung. Blocking and handoff performance analysis of directed retry in cellular mobile systems [A]. IEEE Proc. GLOBALCOM [C], 1993: 537- 541.
- [7] S M Elnoubi, R Singh, S C Gupta. A new frequency channel assignment algorithm in high capacity mobile communication systems [J]. IEEE Trans Veh. Technol., Aug. 1982, VT 31: (4).
- [8] Ming Zhang, Tak shing P Yun. The nonuniform compact pattern allocation algorithm for cellular mobile systems [J]. IEEE Trans Veh. Technol., 1991, 40: 387- 391.

作者简介:



秦好亮 男. 1975 年 8 月生于河北省沧州市. 2000 年获天津大学通信与信息系统专业工程硕士学位. 主要研究的领域: 宽带多媒体移动通信的关键技术.



曹达仲 男. 1941 年 1 月生于天津市. 1963 年毕业于天津大学无线电技术专业, 后留校任教至今. 现任天津大学电子信息工程学院教授, 天津大学光纤技术研究所副所长. 主要研究领域: 数字移动通信, 多媒体通信, SDH 及 ATM 技术.