

# 基于欧氏距离度量的综合动态无线资源管理

赵瑞锋, 蒋海林, 谈振辉

(北方交通大学现代通信研究所, 北京 100044)

**摘 要:** 本文采用欧氏距离度量作为越区切换和接入控制的判决依据, 研究了综合动态无线资源管理, 综合考虑了五项无线资源管理任务. 欧氏距离度量与解调信息序列相结合, 可以提供准确可靠的信道质量度量. 仿真结果显示在特定的业务质量限制下, 综合无线资源管理方案选择合适的门限和算法, 通过在各个目标和任务之间进行必要的折衷和综合考虑, 可以增加系统容量和达到较好的综合性能.

**关键词:** 越区切换; 资源管理; 欧氏距离; 功率控制

**中图分类号:** TN915.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)05-0641-04

## Integrated Dynamic Radio Resource Management Based on Euclidean Distance Metric

ZHAO Rui feng, JIANG Hai lin, TAN Zhen hui

(Modern Communication Research Institute, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** We investigated integrated dynamic radio resource management using Euclidean distance metric as a decision criterion for handoff and admission control, considering five resource management tasks in an integrated way. The Euclidean distance (ED) metric, associated with the decoded information sequence, is used as an accurate and consistent channel quality measure. Simulation results show that within specified quality constraints integrated radio resource management can increase system capacity and offer better overall performance by selecting appropriate thresholds and algorithms or making the necessary tradeoffs between the individual goals.

**Key words:** handoff; resource management; euclidean distance; power control

### 1 引言

在蜂窝系统中, 某些特定地点由几个基站共同覆盖, 基站和移动台之间的连接和维持要求进行五项资源分配任务: 基站选择、信道分配、功率控制、越区切换和接入控制. 由于系统业务和传播环境的动态变化, 无线资源管理方案必须动态地自适应于干扰和业务情况的瞬间变化. 在设计一个蜂窝网络时为了提供大容量、高性能(低误码率)、低阻塞率和低掉话率的系统, 必须综合考虑这些资源管理任务, 在它们之间进行折衷, 得到最佳的综合性能. 研究这些资源管理任务之间的相互关系和相互影响就非常必要<sup>[1]</sup>.

以上的无线资源管理任务都是以信道质量度量为判决依据来进行的. 度量信道质量的指标有接收信号强度、误比特率、帧差错率等, 而帧差错率被认为是无线系统中最有意义的性能测量指标<sup>[1]</sup>. 平均信纳比可以与帧差错率很好地保持一致, 而欧氏距离可以用来作为信纳比的测量替代<sup>[2]</sup>.

### 2 欧氏距离度量

#### 2.1 信道度量模型

所考虑的度量系统框图如图 1 所示, 主要是其等效基带部分.

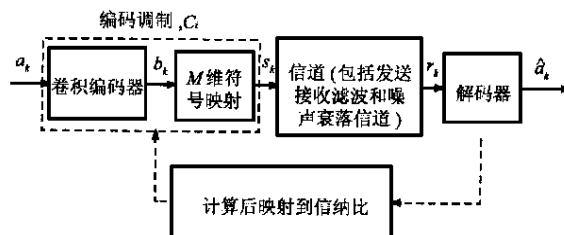


图 1 度量系统基带框图

假设蜂窝系统以帧为单位传输, 每帧内传输  $K$  个符号. 信息序列  $\{a_k\}$  经过卷积编码后产生一个序列  $\{b_k\}$ , 编码后的序列  $\{b_k\}$ , 使用格雷映射, 从  $M$  维星座图映射为一个符号序列  $\{s_k\}$ . 使用发送滤波器来进行脉冲形成, 以便满足符号间没有干扰的要求. 信号然后在一个无线信道上传输, 由于衰落和加性高斯白噪声, 信号扭曲失真, 用前端模拟接收用前端模拟接

收滤波器来匹配发送滤波器,在最佳取样瞬间对它的输出进行取样,则在第  $k$  个时间瞬间的接收符号,可由下式给出

$$r_k = \alpha_k s_k + \gamma_k i_k + n_k \quad (1)$$

式中:  $s_k$  表示发送符号;  $\alpha_k$  表示信道衰落因子;  $i_k$  表示干扰信号;  $\gamma_k$  表示干扰信号的衰落因子;  $n_k$  表示加性高斯白噪声样本,它的方差为  $N_0$ ,所有参量都为复数.

## 2.2 对于 M PSK 的度量

对于一个长度为  $K$  的序列  $\{s_k\}$ , 用  $\{\tilde{s}_k\}$  表示在译码器的一个长度为  $K$  任意序列,  $\{\tilde{s}_k\}$  表示译码器对  $\{s_k\}$  的估计.

假设在译码器的第  $K$  个瞬间, 衰落信道因子  $\alpha_k$  的估值为  $\hat{\alpha}_k$ , 给定一个任意序列  $\{\tilde{s}_k\}$ , 那么与它的网格路径相关联的欧氏距离度量可由下式给出,

$$\Lambda_K^C(\{\tilde{s}_k\}) = \sum_{k=0}^{K-1} |r_k - \alpha_k \tilde{s}_k|^2 \quad (2)$$

上式中, 上标  $C$  表示相关检测, 维特比译码器参照欧氏距离度量得出译码序列,

$$\{\hat{s}_k\} = \arg \min \Lambda_K^C \quad (3)$$

对于每个长度为  $K$  的分组, 按照译码的网格路径, 从累积欧氏距离度量  $\Lambda_K$  得出信道质量信息. 当欧氏距离度量较小时表示接收序列非常接近于译码序列, 发生在当信纳比中等或很大时; 当信纳比很小时, 欧氏距离度量很大, 因此度量可以与译码器或解调器输入端的信纳比联系起来. 可以从公式(1)和(2)得出与译码序列  $\{\hat{s}_k\}$  相对应的累积路径度量,

$$\Lambda_K^C(\{\hat{s}_k\}) = \sum_{k=0}^{K-1} |(\alpha_k s_k - \hat{\alpha}_k \hat{s}_k) + (\gamma_k i_k + n_k)|^2 \quad (4)$$

如果可以提供完全的信道状态信息, 那么  $\hat{\alpha}_k = \alpha_k$ , 公式(4)可以写为

$$\Lambda_K^C(\{\hat{s}_k\}) = \sum_{k=0}^{K-1} |\alpha_k (s_k - \hat{s}_k) + (\gamma_k i_k + n_k)|^2 \quad (5)$$

如果译码器没有任何错误, 那么  $\alpha_k (s_k - \hat{s}_k)$  等于零. 较典型的情况是, 当  $\alpha_k$  很小时, 发生错误, 在这种情况下,  $\alpha_k (s_k - \hat{s}_k)$  同样也很小, 可以被忽略, 因此

$$\frac{1}{K} E \left\{ \sum_{k=0}^{K-1} |r_k - \alpha_k \hat{s}_k|^2 \right\} \approx \frac{1}{K} E \left\{ \sum_{k=0}^{K-1} |\gamma_k i_k + n_k|^2 \right\} = (I + N) \quad (6)$$

$E\{\cdot\}$  表示期望, 这样就可以认为累积路径度量归一化后的期望值是每符号噪声加干扰功率谱密度  $(I + N)$  的近似.

式(4)~(6)定义了信道质量度量  $\mu_K^C$ , 在  $K$  个符号上计算可以得到

$$\mu_K^C = \Lambda_K^C(\{\hat{s}_k\}) \quad (7)$$

实际中并没有完全的信道状态信息, 如果使用相干检测, 为了得到好的差错性能, 必须可靠地估计信道状态信息.

## 2.3 度量映射和译码实现

上面提到的平均长时度量  $\mu$  可以映射为译码器输入端的平均信纳比

$$\beta = 10 \log K / \mu \quad (8)$$

$\beta$  表示平均信纳比的估计,  $\mu$  表示平均的或者归一化后的欧氏距离度量. 关于欧氏距离度量的可靠性见文献[2].

## 3 综合动态无线资源管理

由于平均信纳比可以指示移动台和基站之间的信道质

量, 所以可以将平均信纳比用于资源分配方案来动态地自适应于业务状况的变化. 共设定了四个门限: 最低门限  $\beta_{drop}$ 、理想门限  $\beta_{ideal}$ 、接入控制门限  $\beta_{new}$  和越区切换门限  $\beta_{ho}$ .

$\beta_{drop}$  是可以保证足够业务质量的最低可容忍门限, 当低于它时就要掉话.  $\beta_{ideal}$  是每个移动台通过功率控制方案想要达到的最佳门限, 为了保证不掉话, 保持足够的业务质量,  $\beta_{drop} < \beta_{ideal}$ , 然而  $\beta_{ideal}$  不必要很大, 否则将导致更大的发射功率, 增大同道干扰.  $\beta_{new}$  是接入控制门限, 当新呼叫到达时, 如果一个信道可以提供的  $\beta > \beta_{new}$ , 那么就接入, 这样避免了系统过度拥塞. 如果移动台要求切换, 而找不到空闲信道, 会导致掉话. 另一方面, 接入控制也保证了新呼叫一旦被接入, 将不会由于为了达到  $\beta_{ideal}$ , 以很大功率发射, 而对其它移动台有严重的干扰, 因此  $\beta_{ideal} < \beta_{nav}$ .  $\beta_{ho}$  是切换门限, 当  $\beta < \beta_{ho}$  时就请求切换. 所以四个门限有以下关系:  $\beta_{drop} < \beta_{ho} < \beta_{ideal} < \beta_{nav}$ .

### 3.1 平衡功率控制

控制基站和移动台(上、下行)的发射功率, 以便所有的移动台达到  $\beta_{ideal}$ , 对于上行链路进行分布功率控制<sup>[3]</sup>. 通过度量可以得出上行链路的平均信纳比

$$\beta_{ij}^q = p_i G_{ij} / (I_{ij}^q + n) \quad (9)$$

式中:  $G_{ij}$  是由于移动台  $i$  和基站  $j$  之间的路径损耗和衰落造成的上行链路增益因子;  $n$  是基站接收噪声, 用  $M_i$  来表示与移动台  $i$  共享信道的移动台集合;  $I_{ij}^q$  是在基站  $j$  信道  $q$  的干扰,

$$I_{ij}^q = \sum_{i \in M_i} p_i' G_{ij} \quad (10)$$

通过下式来调节发射功率  $p_i'$ ,

$$\begin{aligned} p_i' &= \min \{ p_{\max}, \beta_{ideal} (I_{ij}^q + n) / G_{ij} \} \\ &= \min \{ p_{\max}, \beta_{ideal} p_i / \beta_{ij}^q \} \end{aligned} \quad (11)$$

式中  $p_{\max}$  是最大发射功率, 由硬件来决定.

### 3.2 呼叫接入

假设每个基站  $j$  一直发送一个导频信号  $p_j$ , 移动台测量比较所有邻近基站的平均信纳比, 将移动台分配给平均信纳比最大的基站  $J$ , 满足

$$\beta_{i,J} = \max_j \{ \beta_{ij} \} \quad (12)$$

使用的信道分配方案是最佳信道分配方案<sup>[4]</sup>, 当移动台被分配到一个基站  $J$ , 按照下式选择信道  $Q$ ,

$$\beta_{i,J}^Q = \max_{q \in C_J} \{ \beta_{i,J}^q \} \quad (13)$$

式中:  $C_J$  是基站  $J$  的空闲信道集合, 给定信道  $Q$  的同时, 必须考虑另一个附加的限制, 估计得到的平均信纳比在最大发射功率时大于  $\beta_{new}$ , 那么基站  $J$  信道  $Q$  接受移动台  $i$  的呼叫, 必须满足

$$p_{\max} \beta_{i,J}^Q / p_i \geq \beta_{nav} \quad (14)$$

以上只是对移动台  $i$  使用最大发射功率时的估计, 估计忽略了其它移动台对移动台  $i$  以最大功率发射的反应.

### 3.3 基于欧氏距离的越区切换算法

当  $\beta < \beta_{ho}$  时, 为了避免不必要的切换, 规定了一个滞后门限  $T_{de}$ , 越区切换使用相对信号强度和  $\beta$  与  $\beta_{ho}$  比较相结合的准则<sup>[5]</sup>. 当  $\beta < \beta_{ho}$ , 据式(12)寻找目标基站  $J$ , 如果  $J \neq j$ , 准备进行蜂窝间切换, 按照式(13), 寻找合适的信道  $Q$ , 如果  $(\beta_{i,J}^Q$

$-\beta) > T_{de}$ , 则切换到目标基站. 如果  $J = j$ , 在蜂窝内切换, 寻找最佳信道  $Q$ . 如果  $Q \neq q$ , 进行切换. 如果所有的切换失败, 呼叫继续由旧基站提供服务, 尽管它的  $\beta$  可能低于  $\beta_{dq}$ , 导致掉话.

#### 4 仿真环境和结果

仿真的目标系统为 CDMA (IS 95) 系统, 有 7 个基站, 每个蜂窝的覆盖直径为 2km, 共考虑 30 个信道. 移动速度使用截短高斯分布, 均值为 70km/h, 标准方差为 10km/h, 最大值为 100km/h, 最小值为 40km/h. 假设在整个呼叫持续时间内, 移动台的速度和方向是恒定的.

新呼叫到达率为  $\lambda$  个呼叫/秒, 是一个独立的泊松过程. 呼叫持续时间为指数分布, 均值为  $1/\mu = 120s$ . 给定的整个系统的信道集合数  $M = 30$ , 基站个数  $B = 7$ . 归一化业务负载为  $\rho = \lambda/\mu MB$ , 单位是爱尔兰/信道/蜂窝 ( $E$ ). 接收信号强度由平均信纳比来度量, 主要是长时度量估值, 考虑路径损耗和阴影效应, 忽略瑞利衰落, 信道模型为 Okumura 模型, 计算路径损耗时使用模型中准平坦地形大城市市区的中值路径损耗公式.

评价系统性能时使用业务质量、业务拒绝率和切换统计特性, 业务拒绝性能使用新呼叫阻塞率  $P_b$  和掉话率  $P_d$ , 越区

切换的性能由平均切换次数/移动台/呼叫  $E\{H\}$  和切换时延  $E\{\tau\}$  来描述.

仿真结果讨论了四个门限对  $P_b$ 、 $P_d$ 、 $E\{H\}$  和  $E\{\tau\}$  的影响. 设定  $\beta_{drop} = 14dB$ ,  $\beta_{ho} = 16dB$ ,  $\beta_{ideal} = 18dB$ ,  $\beta_{nav} = 20dB$ ,  $T_{de} = 5dB$ .

图 2 是不同业务负载下阻塞率和掉话率的关系图. 在  $P_b = 0.01$  时, 业务负载为 0.63E, 在  $P_d = 0.01$  时, 业务负载为 0.57E, 可以得出当  $P_b$  和  $P_d$  都小于 1% 时, 系统可以支持的业务负载为 0.57E. 然而掉话率轻微高于阻塞概率, 这种结果是不利的, 由于掉话比呼叫阻塞更令人难以接受, 因此有必要谨慎选择门限值和使用合适的接入控制策略. 当移动台进入相邻蜂窝, 切换门限较小和滞后门限较大时, 功率控制和越区切换算法企图保持此呼叫在旧基站. 一个移动台进入一个新的蜂窝, 但是仍旧连接到原来的基站, 必须以很高的功率来发射, 达到  $\beta_{ideal}$ , 引起附加的同道干扰, 导致其它移动台掉话, 这就是  $P_d$  高于预想值的原因.

图 3 是不同业务负载下的切换时延, 结果表明, 当负载较轻时, 时延较小, 随着负载的增加, 切换时延也增加. 当系统过载时, 很难找到空闲信道来进行越区切换, 呼叫必须连接到旧基站, 在这种情况下, 发射机以最大功率发射直到找到新的空闲信道或者由于  $\beta < \beta_{drop}$  导致掉话.

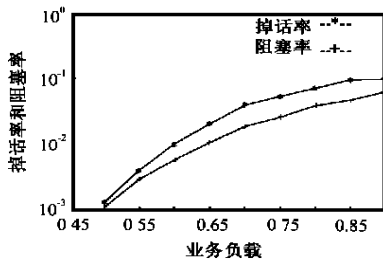


图 2 不同业务负载下的阻塞率和掉话率

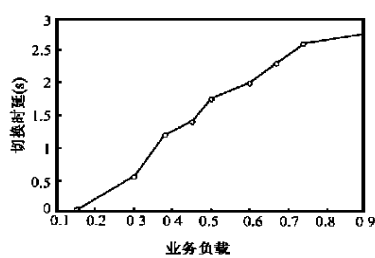


图 3 不同业务负载下的切换时延

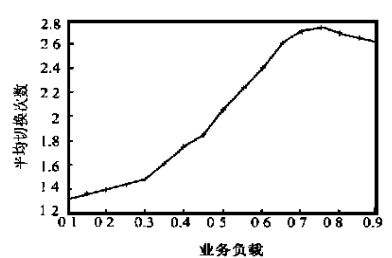


图 4 业务负载和平均切换次数的关系

图 4 描述了业务负载和平均切换次数的关系, 结果显示每个呼叫的平均切换次数, 随着业务负载的增加而增加, 当业务负载从 0.2E 增加到 0.7E, 平均切换次数从 1.4 增加到 2.6. 当速度为 90km/h, 一个呼叫的持续时间为 120s 时, 经过的平

均距离为 3km, 当蜂窝直径为 2km, 每个呼叫访问的平均蜂窝个数为 1.5, 在重负载时, 每个呼叫的平均切换次数明显大于按距离计算所得出的切换次数.

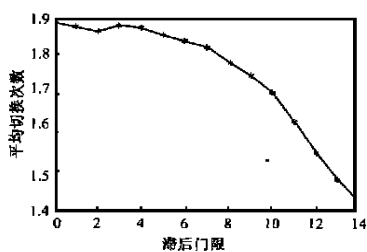


图 5 不同滞后门限下的平均切换次数

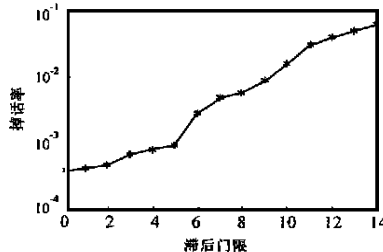


图 6 不同滞后门限下的掉话率

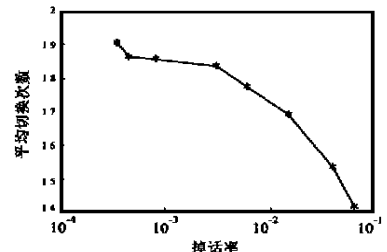


图 7 平均切换次数和掉话率的关系

以上讨论的是滞后门限固定时的情况. 下面将讨论滞后门限对越区切换时延和切换次数的影响. 由图 5 和 6 可以看出, 当滞后门限增加时, 每个呼叫的平均切换次数减少, 然而掉话率增加了. 过大的门限阻止了在蜂窝边缘的切换, 导致了

使用预计蜂窝区域外部的信道, 增加了不必要的同道干扰, 使移动台等待了过长的时间去切换,  $P_d$  将增加.

图 7 显示了当业务负载为 0.45E 时, 每个呼叫的平均切换次数和  $P_d$  之间的折衷.

较大的滞后门限增大了切换时延,减小了切换次数,然而付出了  $P_d$  增加的代价。尽管切换次数越小越好,但是受到所达到期望业务质量等级的限制。结果同时显示功率控制可以阻止在蜂窝边缘的切换,即使移动台进入了邻近的蜂窝,仍就允许旧基站提供服务,这种蜂窝服务范围的延伸,当系统拥挤时,延缓了一个呼叫的掉话,代价是增加了同道干扰;但是在系统负载较轻时,引起了不必要的干扰。

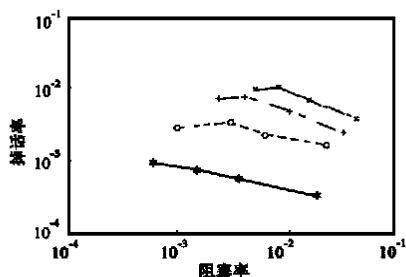


图 8 阻塞率和掉话率的折衷曲线

图 8 是  $P_b$  和  $P_d$  之间的折衷曲线,它们在不同业务负载下作为  $\beta_{new}$  的函数。当  $\beta_{new}$  增加,  $P_b$  增加,这样对于新呼叫更难满足允许的的门限  $\beta_{new}$ , 这种情况下,更多的空闲信道可以用于越区切换,  $P_d$  轻微地减小。在一个特定的负载下,对于所期望的业务等级,可以选择合适的  $\beta_{new}$  作为接入控制参数。

## 5 结论

在进行资源管理时,采用欧氏距离作为越区切换和接入控制的判决依据。欧氏距离度量与解调信息序列相结合,可以提供准确可靠的信道质量度量。在特定的业务质量限制下综合无线资源管理方案选择合适的门限和算法,通过在各个目标和任务之间进行必要的折衷和综合考虑,可以增加系统容量和达到较好的综合性能。

## 参考文献:

- [1] Nishith D. Tripathi and Jeffery H. Reed. Handoff in cellular systems [J]. IEEE Personal Commun. Dec. 1998: 26-37.

- [2] Krishna Balachandran and Srinivas R. Kadaba. Channel quality estimation and rate adaptation for cellular mobile radio [J]. IEEE J. SAC, July 1999, 17: 1244-1256.
- [3] C.-N. Chuah, R. D. Yates and D. J. Goodman. Integrated dynamic radio resource management [A]. Proc. 45th IEEE VTC [C], 1995: 887-891.
- [4] H. Panzer and R. Beck. Adaptive resource allocation in metropolitan area cellular mobile radio systems [A]. Proc. 40th IEEE VTC [C], May 1990: 638-645.
- [5] R. Vijayan and J. M. Holtzman. A model for analyzing handoff algorithms [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, August 1993, 43(3): 351-356.

## 作者简介:



赵瑞锋 1994、1997、2000 年分别获北方交通大学学士、硕士、博士学位,现任职于朗讯科技贝尔实验室(中国),主要研究方向有第三代移动通信,无线 ATM 和宽带网络技术。

蒋海林 1995、1998 年分别获长沙铁道学院学士、北方交通大学硕士学位,北方交通大学现代通信研究所读博士生,主要研究方向内容有第三代移动通信和无线 ATM。

谈振辉 教授、博士生导师。1967、1981 年分别获北方交通大学学士、硕士学位,1987 年获东南大学博士学位,1991~1993 年到比利时和加拿大作高级访问学者。现任北方交通大学校长,中国通信学会会士,国务院学位委员会第四届学科评议组成员,“电子学报”和“铁道学报”编委。