

基于用户的最优通信系统决策研究

吴宇航^{1,2}, 阎少宏^{2,3}

(1. 华北理工大学理学院, 河北 唐山 063009; 2. 华北理工大学数学建模创新实验室, 河北 唐山 063009;
3. 河北省数据科学与应用重点实验室, 河北 唐山 063009)

摘 要: 为了研究在无线通信环境中如何选择满足用户需求的无线信道连接系统的问题, 首先根据用户数目利用爱尔兰呼叫损失关系, 估计出满足用户需要所应提供的信道数目; 其次利用信道数目建立用户需求和系统容量之间的关系模型, 引入综合评价因子对频分多址、时分多址和码分多址通信系统进行评价; 最后提出了满足用户需求的最佳决策方案。该方案不仅实现了信道的有效利用, 而且使信道有一定冗余, 避免了因未来用户增长所引起的系统重建、资金浪费等问题, 为不同用户数的通信系统选择提供了双赢的衡量方法。

关键词: 多址联接; 呼损率; 通信容量; 综合评价因子

中图分类号: TN914.3

文献标识码: A

Research on decision making of optimal communication system based on user

WU Yu-hang^{1,2}, YAN Shao-hong^{2,3}

(1. College of Science, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China;
2. Mathematical Modeling Innovation Lab, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China;
3. Hebei Key Laboratory of Data Science and Applications, Tangshan 063009, China)

Abstract: In order to study the problem of how to choose the wireless channel connection system to meet the needs of users in the wireless communication environment, according to the number of users using the Irish call loss, the estimated number of users need to meet the channel should be provided. Followed by the number of channels to establish the relation model between user requirements and system capacity, introducing comprehensive evaluation factors to evaluate FDMA, TDMA and CDMA communication system. Finally a solution was put forward to meet the optimal decision the needs of users. This scheme not only realizes the effective utilization of the channel, and the channel has certain redundancy, avoid the system reconstruction caused by future user growth, capital waste, provides a measure of win-win choice for different number of users of the communication system.

Key words: multiple access, call loss rate, communication capacity, comprehensive evaluation factor

1 引言

自从无线通信进入人类社会以来, 人们对它的依赖与日俱增, 对宽带和“绿色”通信的需求, 成为促进移动网络未来演进的关键要素, 通信系统中的蜂窝网采用空间频率再用技术大大缓解了频谱资

源有限与用户不断增长之间的矛盾^[1~4]。基于蜂窝网产生了频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA) 3 种多址联接方式, 三者的通信容量和成本都不同。蜂窝中如果小区用户数目较多, 却采用了小容量的通信系统, 会导致呼损率升高, 并不能满足用户需求; 相反, 如果用户数目并

收稿日期: 2016-08-28

通信作者: 阎少宏, shaohong@ncst.edu.cn

基金项目: 国家青年基金资助项目 (No.11301120); 河北省青年科学基金资助项目 (No.A2015209189); 河北省重点实验室基金资助项目; 河北省拔尖人才支持计划基金资助项目

Foundation Items: The National Youth Foundation of China(No.11301120), The Youth Science Foundation of Hebei Province(No.A2015209189), Key Laboratory of Hebei Province Fund, Hebei Province Top-notch Talent Support Program Fund

不多,却采用了大容量的通信系统,虽然能为用户数目增加提供宽裕的信道,但会导致资源和资金的浪费,因此,降低支出的需求突出了发展规模经济的重要性。从根本上讲,驱动运营商网络需求的因素包括现有用户需求、成本、面向未来的演进及可持续发展的能力等。所以,这使通信系统的优选问题显得尤为重要。

2 通信系统问题分析

假设要在一个半径为 R , 用户数目为 N 的圆形区域内建立中继站以满足用户需求, 中继站有效覆盖半径为 r , 可利用频谱总带宽为 B_1 , 信道宽度 B_c , 试分析应选用怎样的通信系统。

通信系统的建立必须以满足用户的基本需求为先决条件, 所以新建的通信系统必须做到信号完全覆盖和系统信道容量富余。对于信号, 采用蜂窝系统中的区域划分; 对于信道, 由于各个系统的容量不同, 可根据用户所需的信道数目选择合适的通信系统。于是, 本文首先以区域被完全覆盖为前提, 对圆形区域进行小区划分, 利用某小区的用户数目估计出小区话务量, 在既定呼损率的情况下, 借助爱尔兰公式求得要满足小区用户需求所需的信道数, 再将它分别与 3 种多址联接方式的通信容量做比较, 最后综合考虑系统成本、系统容量、用户增长对系统的影响, 得出可供选择的通信系统方案。

3 划分小区及确定中继站数目

在圆形区域的每个位置都可能存在用户, 所以信号要覆盖整个区域才能满足每个用户的需求。蜂窝通信系统中采用小六边形对区域划分, 保证完全覆盖, 所需要建立小区的数目为

$$N_0 = \frac{\pi R^2}{\frac{\sqrt{3}}{4} \times \left(\frac{2}{\sqrt{3}} r\right)^2 \times 6} = \frac{\pi R^2}{3.464 r^2} \quad (1)$$

若每个小区所容纳的用户数相同, 则每个小区所包含的用户数目为 $M = \frac{N}{N_0}$, 假设圆形区域半径

为 64.3 km, 中继站有效覆盖半径为 14.2 km, 区域中总的用户数为 19 000 人, 则划分为 19 个小区, 即采用 19 个中继站, 每个小区所包含的用户数量是 1 000 人。

4 解决小区所需信道数量问题

由于小区的信道数, 即为小区所能容纳的能同时工作的用户数目。如果该小区的用户数目过多, 必然造成用户呼叫的失败次数上升。那么这就需要在呼叫失败次数有限制的条件下, 衡量每个信道所能容纳的用户数目, 或者说小区所能承受的最大用户数目。此处采用爱尔兰呼叫损失^[5]通过话务量 A 、呼损率 B 、共用信道数 n 来解决这个问题。

4.1 计算话务量

话务量的计算公式为

$$M = \frac{A}{A_B}, m = \frac{M}{n}, A = C t_0 \quad (2)$$

其中, m 为每个信道所能容纳的用户数目, M 为共用信道 n 的用户数, A 为总的话务量, C 为每小时的平均呼叫次数, t_0 为每次呼叫占用信道的的时间, A_B 为每个用户忙时话务量(它是一个统计平均值, 一般取 0.03 ~ 0.06 Erl)。如果小区用户数目为 1 000, 忙时话务量取 0.06 Erl, 则该小区总的话务量就是 $A = 60$ Erl。

4.2 计算呼损率

呼损率是在一个通信系统中, 呼叫失败的概率, 其计算式为

$$B = \frac{A - A'}{A} = 1 - \frac{A'}{A} = 1 - \frac{C_0 t_0}{C t_0} \quad (3)$$

其中, A' 为呼叫成功而接通电话的话务量, 即完成话务量, $A - A'$ 为损失话务量, 分析式(3)易知, 要想降低呼损率就需要增大呼叫成功的话务量 A' , 即在平均每次通话占用信道的的时间 t_0 不变的情况下, 增大 1 小时内呼叫成功的次数 C_0 , 这就需要增加信道数, 或者减小小区用户数, 前者需要加大投资, 后者是不能实现的。

4.3 计算信道数

如果呼叫具有下列性质: 1) 每次呼叫相互独立, 互不相关, 即呼叫具有随机性; 2) 每次呼叫在时间上都有相同的概率; 3) 每个用户选用无线信道是任意的, 且是等概率的。则呼损率计算式为

$$B = \frac{A^n}{n!} / \sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!} \quad (4)$$

这就是工程应用中的爱尔兰 B 公式^[6], 利用它

可以得出目前工程上普遍使用的爱尔兰呼损表, 它反映了系统呼损率 (B)、小区信道数 (n) 和该小区总话务量 (A) 三者的关系, 在假定呼损率的条件下, 可以通过话务量来求得区域所需的信道数, 进而得到每个信道所服务的用户数。承接上文, 小区总话务量 $A = 60 \text{ Erl}$, 取 $B = 5\%$, 利用式(4)计算得共用信道数目 $n = 65$, 由于 $M = 1\ 000$, 所以每个信道所容纳的用户数目是 $m = 15.38$ 。

4.4 计算信道利用率

信道利用率是每个信道平均完成的话务量, 信道共用是为了提高信道利用率 η , 其计算式为

$$\eta = \frac{A'}{n} = \frac{A(1-B)}{n} \quad (5)$$

根据上文所得的信道数目 65、话务量 60 及所取的呼损率 5%, 可知 $\eta = 87.7\%$ 。当呼损率固定时, 对于某一信道数可以查询爱尔兰呼损表得到总的话务量, 于是可以建立一个 η 关于 n 的函数表达式即 $\eta = f(n)$, 又从得到的函数图像可以看出, 信道共用时随着信道数目的增加, 信道共用率在不断提升, 当信道数目超过 10 个时, 共用率开始上升缓慢, 后逐渐趋近于平稳^[6]。

5 3 种通信系统的选择

5.1 3 种通信系统的介绍

常用的通信系统有 3 种^[6,7]: 频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA), 其特点如下。

FDMA 系统中每一个用户分配有一个地址, 即在一个射频频带内, 每个用户分配有一个频道, 且这些频道在频域上互不重叠, 在这个系统中频道即信道, 它是以频道的不同来分割地址的, 其特点是频带独占, 而时间资源共享。在这个系统中可以采用有向天线对小区进行扇形分区, 减少同频干扰。

TDMA 系统是基于时间分割信道, 每个用户分配有一个地址, 即一个时隙, 一般将一个频带分为 8 个时隙, 即 8 个信道。它是以时隙的不同来分割地址的, 其特点是时隙独占而频率资源共享。也可以采用有向天线对小区进行扇形分区, 减少同频干扰。

CDMA 系统是基于码型分割信道, 每个用户分配有一个地址码, 而且这些地址码互不重叠。其特点是频率和时间资源均为共享。在 CDMA 蜂窝系统中, 当然也可以采用有向天线进行扇形分区, 但这种做法的主要目的不在于减少同频干扰, 而在于

扩大系统容量, 如划分角度取 120° , 将背景干扰减小为原来的 $\frac{1}{3}$, 系统通信容量增大 3 倍。

5.2 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统的容量

由于 FDMA 的频道和 TDMA 的时隙只能提供给一个用户呼叫, 同频信号干扰来自于同频小区。假设在 6 个同信道干扰源的最恶劣的环境中, 路径损耗按 4 次方规律考虑, 可得到以每小区信道数为的无线电容量 m , 对于 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统每个小区的无线电容量可分别表示为 m_F 和 m_T , 则

$$m_F = M = \frac{B_t}{B_c \omega_F} \quad (6)$$

$$m_T = a \times \frac{B_t}{B_c \omega_T} \quad (7)$$

在式(6)和式(7)中, m_F 为 FDMA 系统一个区群所容纳的信道数, m_T 为 TDMA 系统一个区群所容纳的信道数, ω 为系统每个区群所包含的小区数目, a 为每个载频所分的时隙数 (在 GSM 系统中 $a = 8$); B_t 为发送或接收的系统总带宽, B_c 为信道带宽或等效信道带宽, $M = \frac{B_t}{B_c}$ 为总信道数或总等效信道数。

5.3 CDMA 蜂窝系统的容量

$\left(\frac{C}{I}\right)_s$ 为每个信道所需最小载波干扰比^[6-8]。

$$\frac{I}{C} = \frac{\frac{B_c}{R_b}}{\frac{E_b}{I_0}} \quad (8)$$

则总的信道数为

$$M = \frac{I}{C} \quad (9)$$

依前向链路可计算出系统的无线容量 m ^[5,8]。由 $\left(\frac{C}{I}\right)_s = \frac{1}{3.312 3M - 1}$, 当 $M \gg 1$ 时, 则

$$\left(\frac{C}{I}\right)_s = \frac{1}{3.3M} \quad (10)$$

加上同频小区频率复用的影响, 则 CDMA 系统以每个小区信道数为单位的无线电容量的表达式为

$$m = \frac{M}{K} \quad (11)$$

其中, M 为总信道数或总等效信道数, K 为同频小区的频率重用的影响系数, 一般取 1.33。

但由于用户之间的对话特征是不连续的, 对话激活期通常只有 35% 左右。如果利用话音激活技术, 即用户有话音时才发射信号, 没有话音就停止发射信号, 则任一用户在话音发生停顿时, 所有其他通信中的用户都会因为背景干扰减小获得更好的通信质量。即该技术使背景干扰减小 65%, 使系统容量提高 $\zeta = \frac{1}{0.35} = 2.86$ 倍, 另外, 上文已提到扇形划分同样可以提高 CDMA 系统的容量, 所以若考虑到语音激活因子 ζ 及扇形划分因子 ϑ 的影响, 则 $m_c = m\zeta\vartheta$, 总结可以得出

$$m_c = \frac{\zeta\vartheta \frac{E_b}{I_0}}{3.3K \frac{B_c}{R_b}} \quad (12)$$

于是当 $B_t = 1.25$ MHz, $B_c = 30$ kHz, $\omega_f = \omega_T = 7$, $R_b = 8$ bit/s, $a = 8$ 时, 取 $\frac{E_b}{I_0} = 4.5$ dB, 则有 $\left(\frac{C}{I}\right)_s = -17.4$ dB, 可得 $M = 17.15$, $m_c = 36.88\vartheta$, $m_f = 6$, $m_T = 47$ 。

5.4 确定最佳通信系统方案

上文中已经计算得到要满足一个小区 1 000 个用户的通话需求所需的信道数 $n = 65$, 在 FDMA、TDMA、CDMA 这 3 种通信系统中系统的选择有 2 种方案。

方案 1 采用 TDMA 系统, 但需要将区群的小区数目 ω_T 降低, 也就是增加每个小区的信道数, 如可使 $\omega_T = 4$, $m_T = 83.33 > 65$, 该系统信道占用率为

$$\gamma_T = \frac{n}{m_T} = \frac{65}{83.33} = 78\% \quad (13)$$

多余的信道可以降低用户呼损率, 也可以为用户数目的增加做准备。

方案 2 采用 CDMA 系统, 可取 $\lambda = 2$, 即采用定向天线将小区划分为 180° 的 2 个扇区。 $m_c = 36.88\lambda = 73.76$, 这个系统的信道占用率为

$$\gamma_c = \frac{n}{m_c} = \frac{65}{73.76} = 88\% \quad (14)$$

CDMA 系统占用信道率比 TDMA 系统大一些。如果预测到该小区用户数目不会大幅度增加, 不考

虑建造系统花费问题的话, 就可以采用 CDMA; 但如果预测到该小区用户数目会大幅度增加, 建议采用 TDMA 系统, 它空闲信道较多, 能够满足更多的用户需求。

6 系统方案的推广

系统的选择除受系统信道占用率 γ_i ($i = F, T, C$) 制约外, 还受系统的成本 E_i ($i = F, T, C$)、用户的增长率 ρ 的影响, 现将成本、用户增长率也引入原模型, 分别进行归一化处理消除量纲影响, 对 3 个通信系统进行综合评价。

设信道占用率对系统选择的影响为 κ , 用户增长率对系统选择的影响为 τ , 分析可知, 如果信道占用率较高, 系统冗余度 $\delta = 1 - \gamma$ 则较小, 也就是空余的信道数目较少, 系统就可能无法满足用户增长时的信道需求, 这就使用户增长率对系统选择的影响升高。于是, 为了很好地衡量信道占用率、用户增长率对系统选择的影响, 本文令 $\kappa_i = \frac{1}{\gamma_i}$,

$$\tau_i = \frac{\rho}{\delta_i} \text{ 对二者分别归一化处理得到 } X_i = \frac{\kappa_i}{\sum \kappa_i},$$

$$Y_i = \frac{\tau_i}{\sum \tau_i}, \text{ 同理, 对 3 种系统的建造成本 } E_i \text{ 归一,}$$

得成本归一化因素 Z , 即

$$Z_i = \frac{E_i}{\sum E_i} \quad (15)$$

由于 γ_i 、 ρ 、 E_i 对系统选择的影响大小不一, 即决策者对三者的偏重程度不一, 对其赋权值分别为 λ_x 、 λ_y 、 λ_z , 且 $\lambda_x + \lambda_y + \lambda_z = 1$, 对通信系统进行综合评价, 令

$$g_i = (\lambda_x \quad \lambda_y \quad \lambda_z) \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \quad (16)$$

取 $\varepsilon_i = \frac{1}{g_i}$ 为系统 i 的综合评价, ε_i 值的大小反映了对系统综合评价的高低。取 j 为应选择的最佳通信系统, 于是有

$$j = \{i | \varepsilon = \max(\varepsilon_i)\} \quad (17)$$

若 3 个系统所能提供的最大信道数都无法满足用户需求, 则应选择通信容量最大的系统, 只是选择该系统时用户呼损率较高。

7 结束语

本文探讨了在无线通信环境中的电波覆盖区内，如何建立满足用户需求的无线信道连接系统的问题。从定量分析的角度，兼顾用户、运营商双方的利益，通过评价因子为决策者关于通信系统的选择问题提供了双赢的决策方法。

参考文献：

- [1] 甘仲民, 张更新. 卫星通信技术的新发展[J]. 通信学报, 2006, 27(8):2-9.
GAN Z M, ZHANG G X. New development of satellite communication technology[J]. Journal on Communication, 2006, 27(8):2-9.
- [2] 尤肖虎, 曹淑敏, 傅学群. 我国未来移动通信研究开发展望[J]. 电信科学, 2002(8):26-29.
YOU X H, CAO S M, FU X Q. China's future mobile communication research prospects[J]. Telecommunications Science, 2002(8):26-29.
- [3] 尤肖虎, 赵新胜. 分布式无线电和蜂窝移动通信网络结构[J]. 电子学报, 2004, S1:16-21.
YOU X H, ZHAO X S. Distributed radio and cellular mobile communication network structure[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, S1:16-21.
- [4] 黎海涛, 张平. 蜂窝无线定位技术的发展及应用[J]. 电信科学, 2001(9):20-23.
LI H T, ZHANG P. Development and application of cellular wireless location technology [J]. Telecommunications Science, 2001(9):20-23.
- [5] 郭梯云, 邬国扬, 李建东. 移动通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
GUO T Y, WU G Y, LI J D. Mobile communication[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2000.

- [6] 韦惠民, 李白萍. 蜂窝移动通信技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
WEI H M, LI B P. Cellular mobile communication technology[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002.
- [7] 邬国扬, 孙献璞. 蜂窝通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
WU G Y, SUN X P. Cellular communication[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002.
- [8] 邬国扬. CDMA 数字蜂窝网[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
WU G Y. CDMA digital cellular network[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2000.

作者简介：



吴宇航（1991-），男，河北唐山人，华北理工大学硕士生，主要研究方向为云计算理论及其应用。



阎少宏（1977-），男，河北唐山人，华北理工大学副教授、硕士生导师，主要研究方向为计算方法、高性能计算。