

# 个人通信信令系统性能分析

章坚武<sup>1</sup>, 姚庆栋<sup>2</sup>

(1. 杭州电子工业学院信息通信系, 杭州 310037; 2. 浙江大学信息与电子工程学系, 杭州 310027)

**摘 要:** 本文提出一种个人通信信令系统分析的通用模型, 用它对 GSM 和采用 IS-41 信令系统的负荷进行了性能分析.

**关键词:** 个人通信; 信令系统; 全球移动通信网 (GSM); IS-41

**中图分类号:** TN915.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 10-0078-04

## Analysis of Signaling System Performance for Personal Communications

ZHANG Jian-wu<sup>1</sup>, YAO Qing-dong<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou 310037, China;

2. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** This paper presents a methodology to evaluate the signaling system loading for personal communications that are independent of assumptions. We use this methodology to evaluate the signaling system loading of GSM and IS-41 system.

**Key words:** personal communications; signaling system; GSM; IS-41

### 1 引言

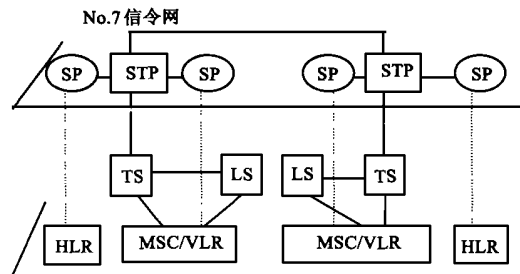
对个人通信日益增长的需要, 现有的信令系统能否满足高密度、高移动性、多媒体业务的需求引起了人们极大的关注. 在过去研究信令和数据库<sup>[1~7]</sup>时主要考虑 GSM 系统, 对 IS-41 的讨论不多, 研究主要考虑分布式结构<sup>[8]</sup>和话音/数据集成的影响<sup>[9]</sup>. 北美蜂窝系统互连标准 IS-41<sup>[10, 11]</sup>的发表, 使人们对蜂窝系统的信令有了一个明确的认识.

我国数字移动通信网采用三级结构的 No. 7 信令网. 高级信令转接点 (HSTP) 设置在大区移动业务汇接中心 (TMSC1), 低级信令转接点 (LSTP) 设置在二级移动业务汇接中心 (TMSC2), 移动网中的每个移动交换中心 (MSC) / 访问者位置寄存器 (VLR)、设备识别寄存器 (EIR)、归属位置寄存器 (HLR) / 鉴权中心 (AUC)、短消息中心 (SC) 和基站控制器 (BSC) 中均设置信令点 (SP). 目前, MSC / VLR 通常为一个物理实体, 合设一个 SP; HLR / AUC 通常为一个物理实体, 合设一个 SP; 当 MSC / VLR、EIR 与 HLR / AUC 合设于一个物理实体中, 可设置一个 SP. 数字移动通信网与 No. 7 网的关系如图 1 所示.

个人通信系统的基本结构与数字移动通信网的结构基本一致, 信令网的连接方式也基本相同<sup>[12]</sup>.

在过去, 对信令的研究通常只考虑一个特殊系统, 每个研究建立在一系列假设之上<sup>[2, 3, 13]</sup>. 这些假设包括 MS 的密度、移动性和呼叫格式, 这些结果通常都建立在移动性的简单模型上或略作改进的模型之上. 因此对不同的研究结果进行比较往往十分困难.

文献[14]中提出了一种独立于任何一种特殊移动模型的通用分析框架, 并推导了相对信号与系统负荷大的精确表达式. 本文对文献[14]一些情况进行了修正, 并用它对 GSM 系统和采用 IS-41-C 信令系统的负荷情况进行了分析.



TS: 长途局, LS: 市话局, SP: 信令点 STP: 信令转接点

图 1 数字移动网与 No. 7 信令网的关系图

### 2 个人通信信令系统的描述与分析

根据话务统计, 目前移动通信系统中信令业务大约占系统总业务量的 80%<sup>[15]</sup>. 因此对个人通信信令系统性能进行评估十分重要.

一个无线用户的信令系统负载为以下 5 部分之和: 移动台主呼; 移动台被呼; 位置登记 (位置更新); 切换; 鉴权.

一个交换小区的总信令负荷 (字节数 / 小时) 为上述 5 部分负荷之和:

$$\frac{\text{总 SS7 字节数/小时}}{\text{交换区}} = \frac{\text{移动台主呼总字节数/小时}}{\text{交换区}} + \frac{\text{移动台被叫总字节数/小时}}{\text{交换区}} + \frac{\text{移动台总切换字节数/小时}}{\text{交换区}} + \frac{\text{移动台位置更新总字节数/小时}}{\text{交换区}} + \frac{\text{移动台鉴权总字节数/小时}}{\text{交换区}} \quad (1)$$

以上每一项,每小时字节数代表作为一次特殊活动进入 SS7 网络通信流量. 这里并未考虑蜂窝结构内部 BS 和 MSC 之间的通信流量问题. SS7 发生在两个 MSC 或 MSC 和 HLR 或 VLR, 或两个数据库 HLR 和 VLR 之间.

上面公式又可继续表达如下:

$$\begin{aligned} \frac{\text{SS7 总字节数/小时}}{\text{交换区}} &= \frac{\text{字节数}}{\text{一次移动台主呼}} \times \frac{\text{呼叫次数/小时}}{\text{一次移动台}} \times P(\text{主呼}) \\ &\times \frac{\text{移动台数目}}{\text{一个小区}} \times \frac{\text{小区数目}}{\text{交换区}} + \frac{\text{字节数}}{\text{一次移动台被呼}} \\ &\times \frac{\text{呼叫次数/小时}}{\text{一次移动台}} \times P(\text{被呼}) \times \frac{\text{移动台数目}}{\text{一个小区}} \\ &\times \frac{\text{小区数目}}{\text{交换区}} + \frac{\text{字节数}}{\text{一次切换}} \times \frac{\text{总切换次数/小时}}{\text{交换区}} \\ &+ \frac{\text{字节数}}{\text{一次位置更新}} \times \frac{\text{位置更新次数/小时}}{\text{位置登记数目}} \\ &\times \frac{\text{位置登记数目}}{\text{交换区}} + \frac{\text{字节数}}{\text{一次鉴权}} \times \frac{\text{总鉴权次数/小时}}{\text{交换区}} \quad (2) \end{aligned}$$

其中:  $P(\text{主呼})$  是移动台所有呼叫次数中发起主呼的概率,  $P(\text{被呼}) = 1 - P(\text{主呼})$ , 为了获得较为简洁表达式. 可通过对每交换区的移动台 (MS) 总数目和每个 MS 的呼叫到达率 (即每小时呼叫次数) 的乘积进行归一化, 转换成交换区每次呼叫的 SS7 字节数:

$$\begin{aligned} \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次呼叫}} &= \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次移动台主叫}} \times P(\text{主呼}) + \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次移动台被叫}} \\ &\times P(\text{被呼}) + \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次切换}} \times \frac{\text{切换次数/小时}}{\text{一个移动台}} \\ &\times \frac{\text{呼叫次数/小时}}{\text{一个移动台}} \\ &+ \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次位置登记}} \times \frac{\text{位置更新次数/小时}}{\text{一个移动台}} \\ &\times \frac{\text{呼叫次数/小时}}{\text{一个移动台}} \\ &+ \frac{\text{SS7 字节数}}{\text{一次鉴权}} \times \frac{\text{鉴权次数/小时}}{\text{一个移动台}} \times \frac{\text{呼叫次数/小时}}{\text{一个移动台}} \quad (3) \end{aligned}$$

简写为:

$$\begin{aligned} S_{PCN} &= C_{MO}P(\text{主呼}) + C_{MT}P(\text{被呼}) + C_{HO} \frac{\text{HO}}{\text{呼叫}} \\ &+ C_{LU} \frac{\text{LU}}{\text{呼叫}} + C_{AC} \frac{\text{AC}}{\text{呼叫}} \quad (4) \end{aligned}$$

$S_{PCN}$  为一次 PCN 呼叫的总信令负荷.  $C_{MO}$ 、 $C_{MT}$ 、 $C_{HO}$ 、 $C_{LU}$ 、 $C_{AC}$  分别为移动台主叫 (MO), 移动台被叫 (MT)、切换 (HO)、位置更新 (LU)、鉴权 (AC) 所需的信令成本; HO/ 呼叫表示一次呼叫中平均切换次数; LU/ 呼叫表示二次呼叫之间发生的平均

位置更新次数; AC/ 呼叫表示二次呼叫之间发生的平均鉴权次数.

位置更新成本  $C_{LU}$  要看位置更新是在一个位置登记区 (LA) 完成, 还是两个或两个以上 LA 里完成. 因此, 位置更新的成本可以表示成两部分的线性相加. 设  $C_{LU_{in}}$  为在一个 LA 的位置更新成本.  $C_{LU_{out}}$  为两个或两个以上 LA 的位置更新成本. 这样

$$C_{LU} = C_{LU_{in}} F_{in} + C_{LU_{out}} F_{out} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{其中: } F_{out} &= \frac{\text{跨越交换区的个数/小时}}{\text{交换区}} \\ &= \frac{\text{登记区}}{\text{交换区}} \times \frac{\text{位置更新次数/小时}}{\text{登记区}} \quad (6) \\ \text{和} & F_{out} + F_{in} = 1 \quad (7) \end{aligned}$$

### 3 数学分析

文献 [14] 提供位置更新和切换出现的相对比值:

$$\frac{\text{LU/呼叫}}{\text{HO/呼叫}} = \frac{\sqrt{N_{sw}(1 - E_{em})}}{\sqrt{N_{LA} \cdot E_{em}}} \quad (8)$$

式中:  $N_{sw}$  为每个交换区包含的小区数;  $N_{LA}$  为每个位置包含的小区数;  $E_{em}$  为一个移动台产生和接收到业务量的爱尔兰数.

对于实际系统, 假设每个交换区最多只有 4 个登记区, 而且每个用户不会产生多于 0.2 爱尔兰业务量, 即

$$N_{sw}/N_{LA} \geq 4 \quad (9)$$

$$E_{em} \leq 0.2 \quad (10)$$

$$C_{LU} > C_{HO} \quad (11)$$

考虑式 (8) ~ (10), 故有  $\frac{\text{LU/Call}}{\text{HO/Call}} \geq 8$  (12)

由式 (12) 可见, 位置登记的产生速率比过境切换的产生速率大许多. 即式 (4) 中的切换 (第三项) 比移动性管理 (第四项) 要小许多, 可忽略.

由此, 给出式 (4) 的相对信号负荷的下限为

$$\begin{aligned} S_{PCN} &\geq C_{MO}P(\text{主叫}) + C_{MT}P(\text{被叫}) \\ &+ C_{LU} \text{LU/呼叫} + C_{AC} \text{AC/呼叫} \quad (13) \end{aligned}$$

注意到移动台被叫成本  $C_{MT}$  总比移动台主呼成本  $C_{MO}$  要大. 其

下限为:  $S_{PCN} \geq C_{MO} + C_{LU} \cdot \frac{\text{LU}}{\text{Call}} + C_{AC} \cdot \frac{\text{AC}}{\text{Call}}$  (14)

注意式 (4) 依靠 8 个量, 式 (13) 依靠 6 个量, 式 (14) 依靠 4 个量. 用于限制信令系统负载的式 (13) 要求的变量很容易分成两组. 一组为特定已知参数; 一组为随机参量.

已知参数: (a)  $C_{MO}$ , 移动台主呼所需的字节数; (b)  $C_{MT}$ , 移动台被呼所需的字节数; (c)  $C_{AC}$ , 移动台鉴权所需的字节数.

随机参量: (a) LU/ Call, 二次呼叫之间发生的平均位置更新数; (b)  $P(\text{主呼})$ , 移动台主呼的概率; 移动台被呼的概率  $P(\text{被呼}) = 1 - P(\text{主呼})$ . 在实际系统中, 这两个概率可以确定, 主呼和被呼之间的分布对于每次呼叫的位置更新数目具有第二重要的作用; (c)  $C_{LU}$ , 一次独立的位置更新所需的比特数. 由于它依靠式 (6), 因此它是一个随机量; (d) AC/ Call, 二次呼叫之间发生的平均鉴权次数.

#### 4 性能分析

使用文献[14]给的移动性模型,确定下列方式中经过两次交换区的位置更新量.穿越交换区域的数目与每个位置区中的小区个数的平方根成正比.交换区域的小区数目与位置区域的小区数目的比值给出了交换区域的位置区域数目,将这些假设代入式(6),每个交换区的位置区域数目记为  $k$

$$F_{out} = 1/\sqrt{k} \quad (15)$$

和  $F_{in} = 1 - F_{out}$  通过合并式(6)和式(15)可得到位置更新的相对成本:

$$C_{LU} = C_{L_{Cin}} \cdot (\sqrt{k} - 1)/\sqrt{k} + C_{L_{Uout}} \cdot 1/\sqrt{k} \quad (16)$$

将式(16)分别代入式(13)、(14),得到:

$$S_{PCN} \geq C_{MO}P\{\text{主呼}\} + C_{MT}P\{\text{被呼}\} + [C_{LUin} \frac{(\sqrt{k}-1)}{\sqrt{k}} + C_{LUout} \frac{1}{\sqrt{k}}] \cdot \frac{LU}{Call} + C_{AC} \cdot \frac{AC}{Call} \quad (17)$$

$$S_{PCN} \geq C_{MO} + [C_{LUin} \frac{(\sqrt{k}-1)}{\sqrt{k}} + C_{LUout} \frac{1}{\sqrt{k}}] \cdot \frac{LU}{Call} + C_{AC} \cdot \frac{AC}{Call} \quad (18)$$

其中:交换区中位置区数目  $k$  可用于系统大小的测量;  $S_{PCN}$  并不直接依赖  $N_{LA}$ , 通过  $k$  来测量; 参数  $LU/Call$  被看作移动性的指标, 信令系统负荷主要依靠这一参数, 选它来作所有性能曲线的  $x$  轴. 对于 IS-41-C, 有三种鉴权方案<sup>[16]</sup>: 非 SSD 共享方案、SSD 与原服务系统共享方案及 SSD 与被访系统共享方案. MS 主呼和被呼时所花的鉴权成本相同. 它与位置登记所花的鉴权成本可由访问数据库次数确定, 而访问一次数据库大约需花费 4byte<sup>[11]</sup>. 因此, 可以得出采用不同鉴权方案时鉴权所需的 SS7 比特数, 见表 1.

表 1 不同鉴权方案时鉴权所需 SS7 比特数

鉴权方案	MS 主呼/被呼	位置登记
非 SSD 共享方案	192	192
SSD 与被访系统共享方案	64	320
SSD 与原服务系统共享方案	320	320

一旦选择 MS 主呼/被呼, 位置登记进行鉴权, 单独鉴权的成本与位置登记比较可以忽略. 式(17)、(18)可进一步简化:

$$S_{PCN} \geq C_{MO}P\{\text{主呼}\} + C_{MT}P\{\text{被呼}\} + [C_{LUin} \frac{(\sqrt{k}-1)}{\sqrt{k}} + C_{LUout} \frac{1}{\sqrt{k}}] \cdot \frac{LU}{Call} \quad (19)$$

$$S_{PCN} \geq C_{MO} + [C_{LUin} \frac{(\sqrt{k}-1)}{\sqrt{k}} + C_{LUout} \frac{1}{\sqrt{k}}] \cdot \frac{LU}{Call} \quad (20)$$

为了研究  $k$  的依赖性, 可考虑两个有兴趣的例子.

(1) 对  $k=4$ , 每个交换四个位置区域.

$$S_{PCN} \geq C_{MO} + \frac{1}{2} [C_{LUin} + C_{LUout}] \cdot \frac{LU}{Call} \quad (21)$$

该表达式有个有趣的特性, 即刚好包括交换区内所有位置更新成本的一半.

(2) 对于  $k=$ , 每个交换有极大的位置区域, 即: 所有位置更新均在一个单一的交换区内完成:

$$S_{PCN} \geq C_{MO} + C_{LUin} \frac{LU}{Call} \quad (22)$$

如果一个用户从没有离开该交换机, 所有位置登记均在交换机内完成. 它只能发生在一种限制情况, 即交换机足够大, 能处理全部的小区.

如果假设所有的呼叫是移动台作被叫,  $k=4$  时:

$$S_{PCN} \geq C_{MT} + \frac{1}{2} [C_{LUin} + C_{LUout}] \cdot \frac{LU}{Call} \quad (23)$$

对于  $k=$

$$S_{PCN} \geq C_{MT} + C_{LUin} \cdot \frac{LU}{Call} \quad (24)$$

从上面的例子, 一个交换区无数个位置区系统的信令负荷要小于一个交换区四个位置区的系统. 在位置区域保持固定的情况下, 随着交换区的尺寸增大, 每个呼叫的信令负荷减少.

下面给出四张图进行分析讨论.

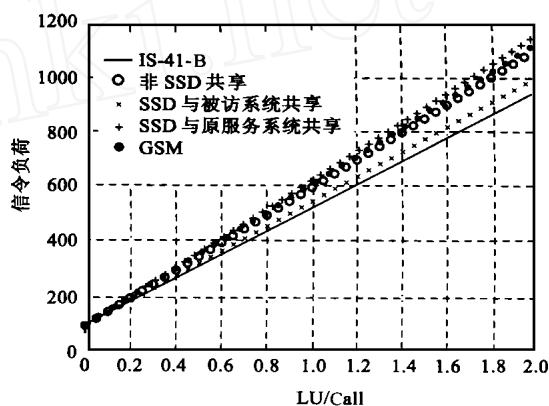


图 2 MSC/VLR 一体化,  $k=4$  的信令负荷

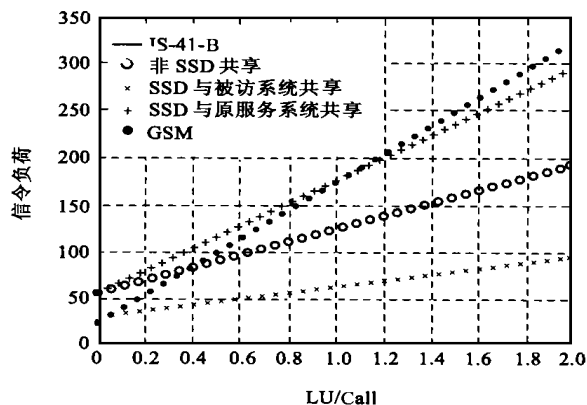
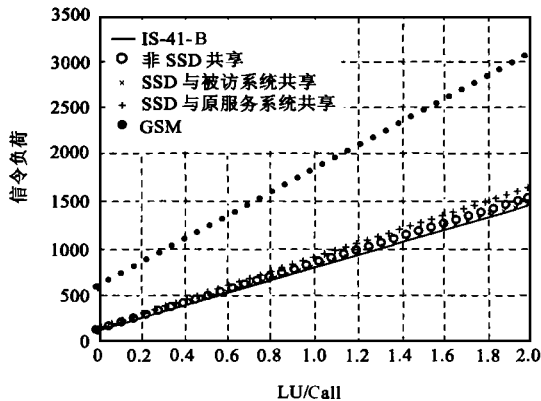
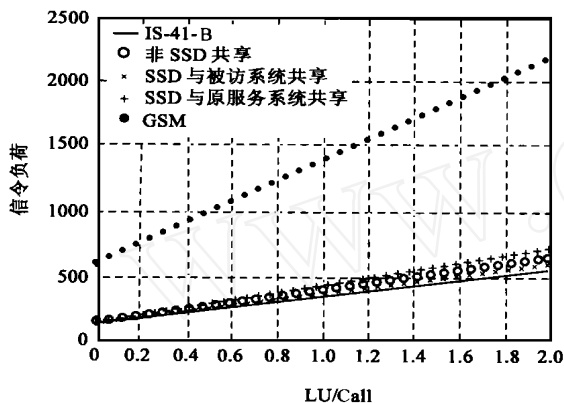


图 3 MSC/VLR 一体化,  $k=$  的信令负荷

#### 5 结论

本文提出一种分析个人通信对信令系统负荷的通用方法, 该方法不需要一些假设前提. 将它应用到 GSM、IS-41-B、IS-41-C 系统.

定义了每次呼叫位置更新数目的移动性指标, 作为每个用户每小时位置更新和每个用户每小时呼叫到达的信令流

图 4 MSC/VLR 非一体化,  $k=4$  的信令负荷图 5 MSC/VLR 非一体化,  $k=$  的信令负荷

量. 给出了作为这个移动性指标的函数的 PCS 信令负荷的准确表达式.

信令负荷的准确表达式依赖于:

- 完成一次移动性主呼或被呼所需发送字节数;
- 移动台主呼和被呼的比例;
- 一个交换区位置区域数;
- 移动性指标,即每次呼叫位置更新数.

于是得出以下结论:(1)由于鉴权过程在 GSM 中有,而在 IS-41-B 中没有考虑,相对信令负荷是最大的两倍;(2)MSC 与 VLR 放在同一台计算机中,即 MSC/VLR,信令负荷较 MSC 与 VLR 非一体化减少 50%左右;(3)从信令负荷看,当 MSC/VLR 一体化时,IS-41-B 由于无鉴权,负荷最低,IS-41-C 的 SSD 与被访系统共享次之,而后是 SSD 非共享,SSD 与原系统共享与 GSM 系统负荷最大;当 MSC/VLR 非一体化时,IS-41-B 和 IS-41-C 负荷基本相同,较 GSM 系统负荷小.(4)  $k$  越大,IS-41 和 GSM 的信令负荷越小.

#### 参考文献:

- [ 1 ] H. Minhas. GSM signaling on the radio path: A dimensioning study [A]. in Proc. Int. Conf. Digital Land Mobile Radio Commun. [C], Venice, Italy, June 30-July 3, 1987.
- [ 2 ] Tabbane S. An alternative strategy for location tracking [J]. IEEE Jour, on SAC June 1995, 13(5).

- [ 3 ] Lyberopoulos GL, et al. Intelligent paging strategies for third generation mobile telecommunication systems [J]. IEEE Trans. on VT, Aug, 1995, 44(3).
- [ 4 ] Pandya R. Emerging mobile and personal communication systems [J]. IEEE Com. Mag., June 1995.
- [ 5 ] Communications society forms technical committee on PCS [J]. IEEE Commun. Mag., pp14, April 1993.
- [ 6 ] J. E. Padgett et al. Overview of wireless personal communications [J]. IEEE Commun. Mag., Jan. 1995, 33(1):28 - 41.
- [ 7 ] Theodore S. Rappaport. Wireless Communications Principles and Practice [M]. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [ 8 ] G. P. Pollini. Capacity of an IEEE 802. 6 based cellular packet switch [A]. in Proc. ICC 93 [C], Geneva, Switzerland, May 23 - 26, 1993.
- [ 9 ] C. N. Lo and R. S. Wolff. Estimated network database transaction volume to support wireless personal data communications application [A]. in Proc. ICC 93 [C], Geneva, Switzerland, May 23 - 26, 1993.
- [ 10 ] 章坚武. IS-41 的发展 [J]. 电信科学, 1998 年 11 月, 14(11):48.
- [ 11 ] TIA/EIA SP-3588. 3, Cellular Radio Telecommunication Intersystem Operations [S]. ANSI Pre-Publish Version, Feb. 1997.
- [ 12 ] 李建东, 杨家玮编著 [M]. 个人通信. 北京:人民邮电出版社, 1998 年 5 月.
- [ 13 ] Wang J. Z. A full distributed location registration strategy for universal personal communication systems [J]. IEEE Jour, on SAC, 1993, 11(6).
- [ 14 ] G. P. Pollini and D. J. Godman. Signaling system performance evaluation for personal communications [J]. IEEE Trans. Veh. Technol., Feb. 1996, 45(1):131 - 138.
- [ 15 ] China Telecom Greatwall Cellular Network. Technical Requirements for the Interface Between Mobile Service Switching Center and Base Station Subsystem in 800MHz CDMA Digital Cellular Mobile Communication Network [S]. 1996, 9.
- [ 16 ] 章坚武. 个人通信分层系统的研究 [D]. 浙江大学博士学位论文, 1999 年 6 月

#### 作者简介:



章坚武 副教授. 分别于 1983 年 7 月、1988 年 4 月在南京通信工程学院无线通信系获工学学士和工学硕士学位. 1999 年 7 月在浙江大学信电系获工学博士学位. 现为杭州电子工业学院信息通信系副主任, 浙江大学信息学院博士后. 研究领域包括:移动通信系统、个人通信系统、智能天线与软件无线电技术等.



姚庆栋 浙江大学信电系教授、博士生导师. 研究领域包括:图像处理、图像编码、数字通信、高清晰度电视、系统集成芯片等.