

文章编号: 1001-0920(2006)08-0948-05

一种超 3G 通信系统的网络/小区智能选择方案

徐向华¹, 郭 强², 朱 杰², 张海滨²

(1. 山东大学 控制科学与工程学院, 济南 250061; 2 上海交通大学 电子工程系, 上海 200030)

摘 要: 为提高超 3G 通信系统切换中网络/小区选择的准确性, 提出一种网络/小区智能选择方案。这种方案综合考虑了超 3G 系统网络无线异构、接入技术不同和业务类型多样的特点, 采用模糊多目标决策算法来选择最适合移动主机切换到的小区。实例分析和仿真结果证实, 在不同的无线网络环境和业务类型下, 此方案均能作出最合理的选择判断, 所选小区相对于其他候选小区而言, 能提供相对最优的切换后通信服务质量。

关键词: 超 3G 系统; 小区选择; 模糊逻辑; 多目标决策

中图分类号: TN 929.5; TP18

文献标识码: A

Intelligent Network/cell Selection Scheme for Beyond 3G Communication System

XU Xiang-hua¹, GUO Qiang², ZHU Jie², ZHANG Hai-bin²

(1. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2 Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China Correspondent: XU Xiang-hua, Email: xuxianghua_sd@sdu.edu.cn)

Abstract: In order to improve the accuracy of the network/cell selection of the handoff in beyond 3G communication system, an intelligent selection scheme is proposed. This scheme takes the characteristics of wireless heterogeneous, different access technologies and multiple traffics of the beyond 3G system into consideration. Then, a fuzzy multiple objective decision algorithm is used to select the optimum cell for the mobile host to hand over. Instance analysis and simulation results show that under different radio network environments and traffic types, this scheme can make the most reasonable decision. In contrast with other candidates, the selected cell can provide the best quality of service (QoS).

Key words: Beyond 3G system; Cell selection; Fuzzy logic; Multiple objective decision

1 引 言

当前的移动通信网络, 包括逐步商用的 3G 系统都是同构网络, 仅采用一种无线接入技术很难满足用户不断增长的业务和速率要求。因此, 超 3G 技术已成为当前通信领域的研究热点。超 3G 通信网络是一个涵盖 2G 和 3G, 卫星网络, 无线局域网等多个网络, 并拥有多种无线接入技术的异构网络, 其移动主机将是一种多模终端^[1]。实现移动主机在超 3G 网络中无缝切换是一个重要的课题^[2]。在同构网络中, 切换是指正在通信中的移动主机离开当前小

区进入一个新小区的过程; 在异构网络中, 切换还可能指移动主机离开当前网络进入一个采用不同接入技术的新网络的过程^[3]。切换一般包括 3 个步骤, 即切换初始化、小区选择和切换执行。其中小区选择是切换过程的关键, 因为选择最合适小区可以保证移动主机在切换后获得最优的通讯服务质量 (QoS)。在同构网络中选择目标小区比较简单, 通常选择信噪比最大的邻小区。而在超 3G 的异构网络中, 不仅有小区选择, 还会有网络选择^[4]。为便于描述, 本文将超 3G 系统的“网络/小区选择”统称为

收稿日期: 2005-05-31; 修回日期: 2005-07-06

基金项目: 国家 863 基金项目 (2003AA 123310)

作者简介: 徐向华 (1977—), 女, 山东菏泽人, 博士, 从事多媒体和无线通信技术的研究; 朱杰 (1964—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事网络与多媒体技术的研究

“小区选择”由于网络异构,传统小区选择算法不再适用,必须根据超 3G 系统网络异构的特点采用新的算法,以保证切换的成功率及切换后移动主机的 QoS

本文提出一种超 3G 系统小区智能选择方案该方案综合考虑了超 3G 网络的特点和小区选择的要素,并利用模糊多目标决策^[5,6]选择小区 仿真结果证明,该方案可以作出正确的小区选择,并能提供最优的切换后 QoS

2 小区选择方案

移动主机完成切换初始化后,便可执行本文提出的小区选择方案,方案如图 1 所示 由于不同业务类型对 QoS 的要求不同^[7],本方案首先判断移动主机当前业务类型是实时(Real-time)还是非实时(Non-real-time)的 实时业务注重业务的连续性,在切换小区后要避免过大的延时,以保证服务的质量;而非实时业务对延时要求较低,但注重服务可持续时间 此外,类型相同而带宽不同的业务(如话音业务和视频业务)对候选小区可提供的 QoS 要求亦存在差别,因此在判断业务类型后,本方案要进一步判断业务的需求带宽 经过以上两层判断后,业务被分成 4 种类型:实时低带宽、实时高带宽、非实时高带宽和非实时低带宽 这里,区分业务类型和带宽的最终目的是为后续模糊多目标小区选择算法提供不同的权重矢量 如图 1 所示, w_{rl}, w_{rh}, w_{nl} 和 w_{nh} 4 种权重矢量分别对应上述 4 种业务类型

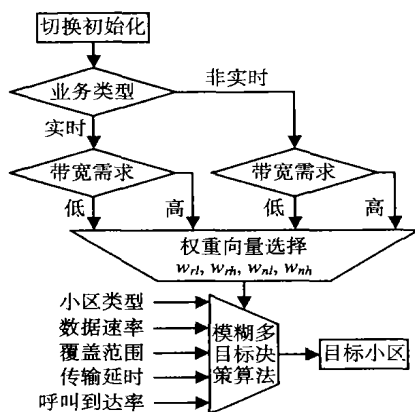


图 1 小区选择方案示意

权重矢量确定后,采用模糊多目标决策算法对候选小区进行判别,选择最适合切换到的小区 此算法包括确定评价矩阵、确定权重矢量、一致性检验和模糊综合判决 4 个步骤.

2.1 确定评价矩阵

假设有 n 个小区可以候选,候选小区必须首先满足可以提供移动主机当前业务所需的最小带宽或

QoS 的条件 如图 1 所示,方案对小区的评价指标包括:小区类型 t , 数据速率 r , 覆盖范围 c , 传输延时 l 和呼叫到达率 a 选用以上指标的原因如下:

- 1) 小区类型 t 用以区别不同候选小区类型 若候选小区与切换前小区类型相同,则取类型值 $t=1$;若不同,则根据候选可承载的业务能力,取 $0 < t < 1$ 将小区类型纳入评价指标是为了促使切换在同类型或相似类型的小区间进行
- 2) 数据速率 r 直接影响移动主机切换后的 QoS,通常 r 值越大,移动主机在切换后小区中的传输性能越高
- 3) 覆盖范围 c 对移动主机的切换频率有较大的影响, c 值越小,移动主机需要频繁切换的概率越大
- 4) 传输延时 l 对实时业务的 QoS 影响显著,对非实时业务的丢包和重传也有较大影响
- 5) 呼叫到达率 a 对切换后小区可提供的 QoS 有明显影响, a 值越高,到达小区的新呼叫越多,小区的服务性能和质量下降得越快

设 n 个候选小区对以上 5 个指标的评价矩阵为

$$X = (x_{ij})_{5 \times n} = \begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \\ x_{r1} & x_{r2} & \dots & x_{rn} \\ x_{c1} & x_{c2} & \dots & x_{cn} \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{ln} \\ x_{a1} & x_{a2} & \dots & x_{an} \end{bmatrix}$$

矩阵 X 的元素 x_{ij} 代表第 j 个小区对指标 i ($i = t, r, c, l, a$) 的评价值 由于这些评价值无统一标准,无法直接进行比较,需对评价矩阵进行标准化处理 设 $x_{i \max} = \max(x_{i1}, \dots, x_{in}), x_{i \min} = \min(x_{i1}, \dots, x_{in}), r_{ij}$ 为 x_{ij} 的标准化值 对切换后移动主机的 QoS 有利的指标 ($i = t, r, c$), 令

$$r_{ij} = x_{ij} / x_{i \max}, \tag{1}$$

对 QoS 不利的指标 ($i = l, a$), 令

$$r_{ij} = x_{ij} / x_{i \min} \tag{2}$$

这样可得到标准化的评价矩阵

$$R = (r_{ij})_{5 \times n} = \begin{bmatrix} r_{t1} & r_{t2} & \dots & r_{tn} \\ r_{r1} & r_{r2} & \dots & r_{rn} \\ r_{c1} & r_{c2} & \dots & r_{cn} \\ r_{l1} & r_{l2} & \dots & r_{ln} \\ r_{a1} & r_{a2} & \dots & r_{an} \end{bmatrix}$$

2.2 确定权重矢量

多目标决策受多种因素影响,所以一定存在相应的权重 设各评价指标综合产生的权重矢量为 $w = [w_t, w_r, w_c, w_l, w_a]$ 本方案采用层次分析法^[8] 确定矢量 w .

首先,用量化值 $c_{ij}(i, j = t, r, l, c, a)$ 表示不同评价指标之间的相对重要程度,如表 1 所示

表 1 评价指标间重要性对比

i 与 j 重要性比较	等于	稍高于	明显高于	非常高于	极其高于
c_{ij}	1	3	5	7	9

对所有评价指标的重要性进行两两对比,可得到对比矩阵

$$C = (c_{ij})_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} C_{tt} & C_{tr} & C_{tc} & C_{tl} & C_{ta} \\ C_{rt} & C_{rr} & C_{rc} & C_{rl} & C_{ra} \\ C_{ct} & C_{cr} & C_{cc} & C_{cl} & C_{ca} \\ C_{lt} & C_{lr} & C_{lc} & C_{ll} & C_{la} \\ C_{at} & C_{ar} & C_{ac} & C_{al} & C_{aa} \end{bmatrix}$$

用几何平均计算权重

$$w_i = \sqrt[5]{\prod_{j=t,r,c,l,a} c_{ij}}, i = t, r, c, l, a \quad (3)$$

归一化后

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{j=t,r,c,l,a} w_j}, i = t, r, c, l, a \quad (4)$$

则 $w = [w_t, w_r, w_c, w_l, w_a]$ 即为所求的权重向量

方案中采用了 4 类权重向量 w (如图 1 所示),这是由于此方案根据移动主机不同的业务和带宽采用了不同的对比矩阵元素 例如,若实时高带宽业务对比矩阵中取 $c_{lc} = 5$,非实时低带宽业务则可调整为 $c_{lc} = 1/5$. 原因是实时高带宽业务对小区的延时属性非常敏感,而非实时低带宽业务则希望小区的覆盖范围足够大,以避免传输过程中的频繁切换 采用不同的对比矩阵进而形成 4 种不同的权重向量,即图 1 中的 w_{rl}, w_{rh}, w_{nl} 和 w_{nh} , 分别对应实时低带宽、实时高带宽、非实时高带宽和非实时低带宽的业务

2.3 一致性检验

层次分析法应保证对比矩阵 C 是一致的,所以应对 C 进行一致性检验,以决定是否接受它 一致性检验步骤如下:

Step 1: 计算矩阵的最大特征值 λ_{max}

Step 2: 计算一致性指标

$$C_I = (\lambda_{max} - m) / (m - 1),$$

其中 m 为评价指标的数目,本方案取 $m = 5$

Step 3: 查找相应的平均随机一致性指标 R_I 对于 $m = 1, \dots, 9$,文献[8]给出了 R_I 的值如表 2 所示

表 2 平均随机一致性指标 R_I

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_I	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Step 4: 计算一致性比值 $C_R = C_I / R_I$,若 $C_R < 0.10$,则认为矩阵的一致性是可以接受的,否则应对

对比矩阵的元素进行适当调整,并返回 Step 1 重新检验,以使其满足一致性

2.4 模糊综合判决

得到标准化的评价矩阵和权重向量后,可利用模糊综合判决方法选择目标小区 采用的综合判决函数为

$$\text{cell}_{best} = \arg \max_{i=1, \dots, n} \{ \sum_{j=t,r,c,l,a} (w_j r_{ij}) \}, \quad (5)$$

其中 \max 表示“取最大”的模糊运算符 式(5)得到的 cell_{best} 就是最终选择的小区编号

3 实例分析与仿真

下面给出本方案的应用实例 设系统切换时有 4 个候选小区,编号为 1, 2, 3, 4 小区评价指标的相应取值如表 3 所示 其中传输延时为初始化时所测值,它受网络和移动主机行为的影响而变化

表 3 候选小区评价指标

评价指标	小区 1	小区 2	小区 3	小区 4
小区类型	0.3	1	1	0.5
数据速率 /M bps	1	11	5.5	2
覆盖范围 /m	1200	200	300	1000
传输延时 /s	0.52	0.02	0.033	0.24
呼叫到达率	0.10	0.05	0.08	0.125

由表 3 及式(1)和(2)可得 4 个候选小区相对于 5 个评价指标的标准化评价矩阵

$$R = (r_{ij})_{5 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.3000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.5000 \\ 0.0909 & 1.0000 & 0.5000 & 0.1818 \\ 1.0000 & 0.1667 & 0.2500 & 0.8333 \\ 0.0385 & 1.0000 & 0.6061 & 0.0833 \\ 0.5000 & 1.0000 & 0.6250 & 0.4000 \end{bmatrix}$$

设实例中移动主机运行两种不同的业务:业务 a 为实时高带宽视频会议,要求每秒传输 10 帧 128×120 分辨率图像;业务 b 为非实时低带宽 FTP 业务,要求尽可能下载 30 个大小均为 100 kByte 的文件 表 4 给出了移动主机运行 a, b 两种业务时各自的评价指标重要程度对比的 c_{ij} 值

表 4 业务 a(业务 b)的评价指标重要程度对比

	小区类型	数据速率	覆盖范围	传输延时	呼叫到达
小区类型	1 (1)	1/3 (1/3)	3 (1/7)	1/7 (3)	1/5 (3)
数据速率	3 (3)	1 (1)	5 (1/5)	1/3 (5)	1/3 (5)
覆盖范围	1/3 (7)	1/5 (5)	1 (1)	1/7 (9)	1/7 (9)
传输延时	7 (1/3)	3 (1/5)	7 (1/9)	1 (1)	3 (1)
呼叫到达	5 (1/3)	3 (1/5)	7 (1/9)	1/3 (1)	1 (1)

设 C_a, C_b 分别为针对业务 a 和业务 b 的对比矩阵,则

$$C_a = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 1/7 & 1/5 \\ 3 & 1 & 5 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1/7 & 1/7 \\ 7 & 3 & 7 & 1 & 3 \\ 5 & 3 & 7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C_b = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/7 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 1/5 & 5 & 5 \\ 7 & 5 & 1 & 9 & 9 \\ 1/3 & 1/5 & 1/9 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/5 & 1/9 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

由式(3)和(4)求出对应 C_a 和 C_b 的权重矢量 w_a 和 w_b 分别为

$$w_a = [0.0674 \quad 0.1521 \quad 0.0367 \quad 0.4641 \quad 0.2796],$$

$$w_b = [0.1027 \quad 0.2092 \quad 0.5968 \quad 0.0456 \quad 0.0456].$$

计算 C_a 的一致性比值 $C_{R_a} = 0.0614 < 0.10$, 计算 C_b 的一致性比值 $C_{R_b} = 0.0437 < 0.10$, 均通过一致性检验. 再由式(5)得: 对应业务 a, $cell_{best} = 2$; 对应业务 b, $cell_{best} = 1$. 即当移动主机运行业务 a 时, 此方案得出的最佳候选小区是小区 2; 当运行业务 b 时, 最佳选择是小区 1.

为了验证所提出方案在实例应用中的正确性, 本文对以上小区选择结果所造成的移动主机切换后 QoS 进行仿真, 仿真结果如图 2~ 图 5 所示.

图 2 和图 3 是对实时业务 a 仿真的结果, 仿真场景参数按表 3 设定, 移动主机的速度为 2 m/s , 仿真时间为 100 s . 可以看出, 选择小区 2 后移动主机将获得最好的服务, 图 2 显示小区 2 的平均传输延时保持在 0.5 s 之内, 而小区 1 和 4 的延时均超过了 3 s , 这将造成严重的图像延时而影响传输质量. 虽然小区 3 的延时也比较低, 但其吞吐量明显低于小区 2, 小区 1 和 4 则更低. 因此, 相对于其他小区, 在实时业务 a 时选择小区 2 是恰当的, 可以最有效地保障切换后业务传输的 QoS.

图 4 和图 5 是对非实时业务 b 仿真的结果, 仿真场景参数同样按表 3 设定, 移动主机以 5 m/s 的速度穿越小区, 在小区内所经过距离为各小区的半径, 仿真时间为 130 s . 从仿真结果可以看出, 由于小区的覆盖范围不同, 各小区中移动主机运行业务的时间长短也不同. 从图 4 看, 如果移动主机选择小区 1, 则它可以下载约 2.5 MBytes 的文件, 高于小区 4, 更明显高于其他两小区; 从图 5 看, 因小区 2~ 小区 4 的数据速率明显高于小区 1, 致使小区 1 的平均延时最大, 但其最高值也低于 0.14 s , 完全在可接受的范围内. 综上所述, 本文方案在业务 b 情况下选择切换

到小区 1 是正确的, 它能更好地提供非实时 FTP 业务, 文件下载量最大, 平均吞吐量最高, 且延时、重传等指标均保持在合理的范围内. 此外, 小区 1 的覆盖范围最大, 选择它可以减少移动主机的频繁切换, 进一步验证了本方案的优越性.

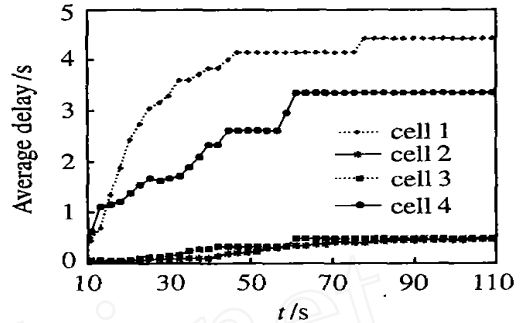


图 2 业务 a 平均延时对比

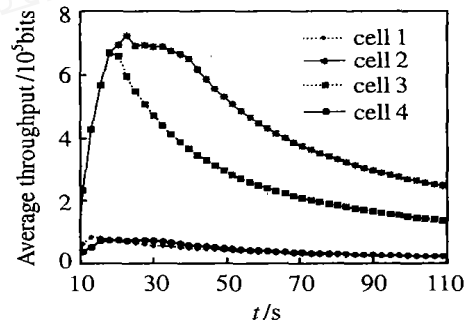


图 3 业务 a 平均吞吐量对比

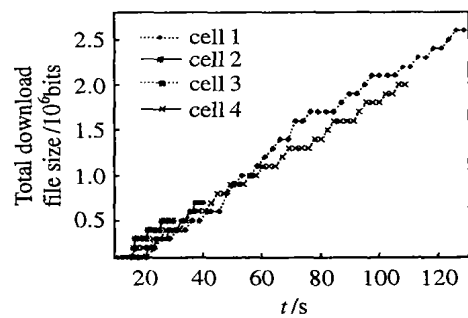


图 4 业务 b 下载文件大小对比

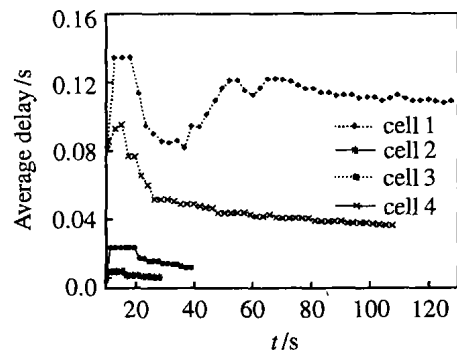


图 5 业务 b 平均延时对比

4 结 语

本文提出了一种针对超 3G 网络切换中小区选择的智能控制方案。此方案针对超 3G 网络自身多接入技术和业务类型的特点,采用与业务 QoS 密切相关的小区类型、数据速率、覆盖范围、传输延时和呼叫到达率作为评价指标,并用模糊多目标判决算法进行小区选择决策。针对所提出的方案,本文给出了实时高带宽业务和非实时低带宽业务的实例分析和仿真。实例分析中,本文方案在移动主机运行不同业务情况时作出了不同的小区选择。仿真结果表明,本文方案所作出的选择是正确的,有效地保障了切换后移动主机获得最优的服务质量。

参考文献(References)

- [1] Mohr W. Further Developments Beyond Third Generation Mobile Communications [A]. *Int Conf on Communication Technology Proc* [C]. Beijing, 2000, 2: 1001-1008.
- [2] Wang J, Liu J C L, Cen Y h. Handoff Algorithms in Dynamic Spreading WCDMA System Supporting Multimedia Traffic [J]. *IEEE J on Selected Areas in Communications*, 2003, 21(10): 1652-1662.
- [3] McNair J, Akyildiz I F, Bender M D. An Inter-system Handoff Technique for the MT-2000 System [A]. *IEEE Infocom* [C]. Israel, 2000, 1: 208-216.
- [4] Shafiq B, Ghafoor A, Baqai S, et al. Wireless Network Resource Management for Web-based Multimedia Document Services [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(3): 138-145.
- [5] Istvan B. A Ranking Method for Multiple-criteria Decision Making [J]. *Int J of Systems Science*, 1997, 28(9): 905-912.
- [6] Ashok K, Gopa K. Optimal System Selection in Fuzzy Environment [J]. *Int J of Systems Science*, 1998, 29(2): 609-616.
- [7] Guenkova-Luy T, Kassler A J, Mandato D. End-to-end Quality-of-service Coordination for Mobile Multimedia Applications [J]. *IEEE J on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(5): 889-903.
- [8] Saaty T L. *The Analytic Hierarchy Process* [M]. New York: McGraw Hill, 1980.
- [8] Xie G M, Wang L. Quadratic Stability and Stabilization of Discrete-time Switched Systems with State Delay [A]. *Proc of 43rd IEEE Conf on Decision and Control* [C]. Atlantis, Paradise Island, Bahamas: IEEE, 2004: 3235-3240.
- [9] Khargonekar P P, Petersen I R, Zhou, K. Robust Stabilization of Uncertain Linear Systems: Quadratic Stabilizability and H^∞ Control Theory [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1990, 35(3): 356-361.
- [10] Petersen I R. A Stabilization Algorithm for a Class of Uncertain Linear Systems [J]. *Systems & Control Letters*, 1987, 8(4): 351-357.
- [11] 卢建宁, 赵光宙. 离散时滞切换系统稳定性分析 [J]. *信息与控制*, 2005, 34(3): 381-384. (Lu J N, Zhao G Z. Stability Analysis for Discrete Switched Systems with Time Delay [J]. *Information and Control*, 2005, 34(3): 381-384.)
- [5] Schmidt R O. Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation [J]. *IEEE Trans on A P*, 1986, 34(3): 276-280.
- [6] Roy R, Kailath T. ESPRIT-estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques [J]. *IEEE Trans on A S S P*, 1989, 37(7): 984-995.
- [7] Kundu D. Modified MUSIC Algorithm for Estimating DOA of Signals [J]. *Signal Processing*, 1996, 48(1): 85-90.
- [8] Haardt M, Nosske J A. Unitary ESPRIT: How to Obtain Increased Estimation Accuracy with a Reduced Computational Burden [J]. *IEEE Trans on S P*, 1995, 43(5): 1232-1242.
- [9] Pesavento M, Gershman A B, Haardt M. Unitary Root MUSIC with a Real-valued Eigendecomposition: A Theoretical and Experimental Performance Study [J]. *IEEE Trans on S P*, 2000, 48(5): 1306-1314.

(上接第 944 页)

(上接第 947 页)