

基于人口迁移的 ABC 支持型切换决策机制

王兴伟 秦培玉 黄 敏

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)

摘 要 提出一种总最佳连接 ABC (always best connected) 支持型切换决策机制。综合考虑接入网络状况、应用需求、用户对接入网络编码制式偏好、用户对接入网络供应商偏好、终端当前运动速率和终端当前剩余电量等因素,通过博弈分析,基于人口迁移算法,寻找使用户和网络提供方效用达到或接近 Nash 均衡下 Pareto 最优的切换决策方案。仿真研究表明,该机制是有效的。

关键词 接入网络,切换决策,总最佳连接,人口迁移算法

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

ABC Supported Handover Decision Scheme Based on Population Migration

WANG Xing-wei Qin Pei-yu HUANG Min

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract In this paper, a handover decision scheme with ABC supported was proposed. Comprehensively considering access network conditions, application requirements, user preferences to access network coding schemes, user preferences to access network providers, terminal velocities and terminal battery capacities, an optimal handover solution was found based on PMA (Population Migration Algorithm). With the help of gaming analysis, Pareto optimum under Nash equilibrium of user utility and network provider utility was achieved or approached for the found solution. Simulation results showed that the proposed scheme was effective.

Keywords Access network, Handover decision, ABC(always best connected), PMA (population migration algorithm)

1 引言

下一代互联网是地面网与空天网、固定网与移动网等融合而成的一体化网络,接入网络异构多样化,使得通信开始时间和进行期间支持用户对网络总最佳连接 ABC (always best connected)^[1]成为可能,从而实现服务质量 QoS (quality of service)全局漫游^[2]。

切换分成水平切换和垂直切换^[3]。后者比前者复杂得多,需要在多个可供选择的异构接入网络间综合权衡。然而,“最佳”本身是一个模糊概念,需要综合考虑各方面因素。在网络商业化运营的环境下,ABC 更不是用户一厢情愿的事,需要兼顾用户和网络提供方的利益^[4]。此外,应用 QoS 需求难以准确量化,具有模糊性^[5],需要切换决策支持模糊信息处理。同样,支持 ABC 不应导致切换频繁发生,应防止出现“乒乓效应”^[6]。因此,支持 ABC 的切换决策问题非常复杂,可归纳如下:有同时被 M 个接入网络覆盖的 N 个待切换终端,综合考虑应用 QoS 需求、用户愿付费用、用户偏爱、移动终端状况、接入网络状态等因素,确定最佳切换方案。该问题不仅是多目标模糊决策问题,而且当 M 和 N 较大时,从 M^N 个可能

方案中选出最优方案,计算量极大,因此应采用启发式或现代优化算法求解。

已经提出了一些垂直切换决策机制。在文献[7]中,提出一个基于马尔科夫过程的垂直切换决策算法,但是模型未考虑用户速度和位置信息。在文献[8]中,提出一个灵巧切换决策机制,在优先级阶段建立可用网络列表,在正常阶段使用记分函数。记分函数综合考虑链路容量、成本和功耗。在文献[9]中,通过切换成本函数和切换阈值函数来评价垂直切换决策。在文献[10]中,提出一个基于 QoS 协商的垂直切换决策模式,以最大化网络收益。在文献[11]中,提出一个基于 QoS 满意度评价的垂直切换决策方法。在文献[12]中,提出一个基于速度感知的垂直切换决策算法。在文献[13]中,提出一个基于模糊逻辑的预判决辅助垂直切换决策算法。

上述机制尚未从支持 ABC 的角度出发考虑切换决策问题。本文引入模糊数学和微观经济学知识刻画应用类型、QoS 需求、接入网络和移动终端,提出一种 ABC 支持型切换决策机制。综合各方面因素,通过博弈分析,基于人口迁移算法 PMA (Population Migration Algorithm)^[14],寻找把 N 个终端切换到 M 个接入网络的决策方案,使得用户和网络提供

到稿日期:2009-09-02 返修日期:2009-12-17 本文受国家自然科学基金项目(60673159,70671020,60802023),国家高技术研究发展计划重点项目(2007AA041201),教育部科学技术研究重点项目(108040),高等学校博士学科点专项科研基金课题(20060145012,20070145017,20070145096)资助。

王兴伟(1968-),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为下一代互联网等,E-mail: wangxw@mail. neu. edu. cn; 秦培玉(1985-),男,硕士生,主要研究方向为 QoS 管理; 黄敏(1968-),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为智能优化算法和调度理论等。

方效用达到或接近 Nash 均衡下的 Pareto 最优^[15]。

2 模型设计

基于文献[16],设计如下切换模型。

2.1 应用类型、QoS 需求及其模糊度

基于区分服务模型^[17],设 $ATS = \{AT_1, \dots, AT_K\}$ 代表 NGI 中 K 种不同应用类型。本文考虑带宽、延迟、延迟抖动、比特出错率、分组丢失率和安全等级等 6 个 QoS 参数,分别记作 BW, DL, JT, BE, PL 和 SL 。由于应用 QoS 需求难以准确表达而且网络难以维持刚性 QoS 值,因此本文采用区间描述 QoS 参数,通过模糊度刻画参数取值的模糊程度。应用类型与 QoS 参数取值之间的映射关系见式(1),参数取值的模糊度 $FB_i, FD_i, FJ_i, FE_i, FL_i$ 和 FS_i 见式(2)~式(7), $i = 1, \dots, K$ 。

$$AT_i \rightarrow \langle [BW_i^l, BW_i^h], [DL_i^l, DL_i^h], [JT_i^l, JT_i^h], [BE_i^l, BE_i^h], [PL_i^l, PL_i^h], [SL_i^l, SL_i^h] \rangle \quad (1)$$

$$FB_i = \frac{BW_i^h - BW_i^l}{BW_i^h + BW_i^l} \quad (2)$$

$$FD_i = \frac{DL_i^h - DL_i^l}{DL_i^h + DL_i^l} \quad (3)$$

$$FJ_i = \frac{JT_i^h - JT_i^l}{JT_i^h + JT_i^l} \quad (4)$$

$$FE_i = \frac{BE_i^h - BE_i^l}{BE_i^h + BE_i^l} \quad (5)$$

$$FL_i = \frac{PL_i^h - PL_i^l}{PL_i^h + PL_i^l} \quad (6)$$

$$FS_i = \frac{SL_i^h - SL_i^l}{SL_i^h + SL_i^l} \quad (7)$$

显然, QoS 参数描述越精确,对应的模糊度值越小。

2.2 接入网络模型

使用如下参数刻画接入网络:接入网络编号 $j, 1 \leq j \leq M$, M 表示接入网络数;接入网络供应商标识 $PI_j \in PIS, PIS = \{PI_1, \dots, PI_{|PIS|}\}$;接入网络类型标识 $TI_j \in TIS, TIS = \{TI_1, \dots, TI_{|TIS|}\}$;接入网络覆盖范围为 CA_j ,与 TI_j 一一对应;接入网络支持终端最高运动速率 MV_j ,与 TI_j 一一对应;接入网络支持编码制式集合 $CS_j \subseteq CIS, CIS = \{CI_1, \dots, CI_{|CIS|}\}$;接入网络支持应用类型集合 $NAS_j \subseteq ATS$;接入网络支持频谱范围 FR_j ;接入网络总带宽为 TB_j ;接入网络可用带宽为 AB_j ,其下限为 AB_j^{\min} ,如果 AB_j 不高于 AB_j^{\min} ,则不再接受终端切换或接入请求,这样做有利于防止切换“乒乓效应”的发生;接入网络发出信号最低强度 TP_j ;接入网络单位时间单位带宽成本为 ct_j ;接入网络 j 对 AT_i 类型应用单位时间单位带宽售价为 pr_{ij} ,由基础价 pb_j 和调节价 pf_{ij} 组成,见式(8)。

$$pr_{ij} = pb_j + pf_{ij} \quad (8)$$

为促进用户理性使用带宽, pb_j 由接入网络供应商确定,分为低价区、平价区和高价区^[18]。令 η_j 表示接入网络 j 的负荷率。当 $\eta_j \leq \eta_j^0$ 时,位于低价区,按式(10)确定;当 $\eta_j \geq \eta_j^1$ 时,位于高价区,通过拍卖^[19]确定;否则,位于平价区,按式(11)确定。

$$\eta_j = 1 - \frac{AB_j}{TB_j} \quad (9)$$

$$pb_j = \begin{cases} pb_j^{\min}, & \eta_j < \eta_j^{\min} \\ \frac{A}{1 + \alpha \cdot \eta_j^{-\beta}}, & \eta_j^{\min} \leq \eta_j \leq \eta_j^0 \end{cases} \quad (10)$$

$$pb_j = \begin{cases} pb_j^{\max}, & \eta_j^{\max} < \eta_j < \eta_j^1 \\ B \cdot (2 - e^{-\delta \cdot (\eta_j - \eta_j^0)^2}), & \eta_j^0 \leq \eta_j \leq \eta_j^{\max} \end{cases} \quad (11)$$

式中, η_j^0 和 η_j^1 是预设经验值, $0 < \eta_j^0 < \eta_j^1 < 1$ 。 pb_j^{\min} 、 pb_j^0 和 pb_j^{\max} 分别是低价区起步价、平价区起步价和平价区最高价, $pb_j^{\min} \leq pb_j^0 \leq pb_j^{\max}$, η_j^{\min} 、 η_j^0 和 η_j^{\max} 是与之对应的负荷率。当 $\eta_j^{\min} \leq \eta_j \leq \eta_j^0$ 和 $\eta_j^0 \leq \eta_j \leq \eta_j^{\max}$ 时, pb_j 分别类似升半柯西分布和升半正态分布^[20],据此可得 A, α, B 和 δ 值。 pf_{ij} 依 AT_i 而定,反映除带宽之外其他 QoS 参数对售价的影响。

$$AT_i \rightarrow pf_{ij} \quad (12)$$

2.3 终端模型

使用如下参数刻画终端:终端编号 $t, 1 \leq t \leq N, N$ 表示终端个数;终端支持应用类型集合 $TAS_t \subseteq ATS$;终端支持编码制式集合 $MCS_t \subseteq CIS$;终端工作频率为 WF_t ;终端接收最低信号强度为 RS_t ;终端当前运动速率为 CV_t ,其高速阈值为 VT_t ;终端当前剩余电量为 RC_t ,其阈值为 C_r ;终端用户对 AT_i 类型应用单位时间单位带宽愿付费用为 HP_{it} ;终端用户对接入网络编码制式偏好序列 $PC_t = \langle PC_{t1}, \dots, PC_{tq} \rangle$ 和对接入网络供应商偏好序列 $PP_t = \langle PP_{t1}, \dots, PP_{tm} \rangle, PC_{tp} \in CIS, PP_{tn} \in PIS, 1 \leq q \leq |CIS|, 1 \leq m \leq |PIS|, 1 \leq p \leq q, 1 \leq n \leq m$,按偏好程度从高到低排列。

2.4 QoS 和价格满意度

如果终端 t 运行的 AT_i 类型应用从接入网络 j 实得 QoS 是 $\langle bw_{t,j}, dl_{t,j}, jt_{t,j}, be_{t,j}, pl_{t,j}, sl_{t,j} \rangle$,则用户对其评价如下:

$$EB_{t,j} = \begin{cases} 0, & bw_{t,j} < BW_i^l \\ \epsilon, & bw_{t,j} = BW_i^l \\ \left(\frac{bw_{t,j} - BW_i^l}{BW_i^h - BW_i^l} \right)^k, & BW_i^l < bw_{t,j} < BW_i^h \\ 1, & bw_{t,j} \geq BW_i^h \end{cases} \quad (13)$$

$$ED_{t,j} = \begin{cases} 0, & dl_{t,j} > DL_i^h \\ \epsilon, & dl_{t,j} = DL_i^h \\ 1 - e^{-\left(\frac{DL_i^h - dl_{t,j}}{DL_i^h - DL_i^l} \right)^k}, & DL_i^l < dl_{t,j} < DL_i^h \\ 1, & dl_{t,j} \leq DL_i^l \end{cases} \quad (14)$$

$$EJ_{t,j} = \begin{cases} 0, & jt_{t,j} > JT_i^h \\ \epsilon, & jt_{t,j} = JT_i^h \\ 1 - e^{-\left(\frac{JT_i^h - jt_{t,j}}{JT_i^h - JT_i^l} \right)^k}, & JT_i^l < jt_{t,j} < JT_i^h \\ 1, & jt_{t,j} \leq JT_i^l \end{cases} \quad (15)$$

$$EE_{t,j} = \begin{cases} 0, & be_{t,j} > BE_i^h \\ \epsilon, & be_{t,j} = BE_i^h \\ 1 - e^{-\left(\frac{BE_i^h - be_{t,j}}{BE_i^h - BE_i^l} \right)^k}, & BE_i^l < be_{t,j} < BE_i^h \\ 1, & be_{t,j} \leq BE_i^l \end{cases} \quad (16)$$

$$EL_{t,j} = \begin{cases} 0, & pl_{t,j} > PL_i^h \\ \epsilon, & pl_{t,j} = PL_i^h \\ 1 - e^{-\left(\frac{PL_i^h - pl_{t,j}}{PL_i^h - PL_i^l} \right)^k}, & PL_i^l < pl_{t,j} < PL_i^h \\ 1, & pl_{t,j} \leq PL_i^l \end{cases} \quad (17)$$

$$ES_{t,j} = \begin{cases} 0, & sl_{t,j} < SL_i^l \\ \epsilon, & sl_{t,j} = SL_i^l \\ \left(\frac{sl_{t,j} - SL_i^l}{SL_i^h - SL_i^l}\right)^k, & SL_i^l < sl_{t,j} < SL_i^h \\ 1, & sl_{t,j} \geq SL_i^h \end{cases} \quad (18)$$

用户对 $bw_{t,j}$, $dl_{t,j}$, $jt_{t,j}$, $be_{t,j}$, $pl_{t,j}$, $sl_{t,j}$ 的满意度和对 QoS 的综合满意度如下:

$$SB_{t,j} = \frac{\alpha_1 \cdot EB_{t,j}}{\beta_1 \cdot FB_i + 1} \quad (19)$$

$$SD_{t,j} = \frac{\alpha_2 \cdot ED_{t,j}}{\beta_2 \cdot FD_i + 1} \quad (20)$$

$$SJ_{t,j} = \frac{\alpha_3 \cdot EJ_{t,j}}{\beta_3 \cdot FJ_i + 1} \quad (21)$$

$$SE_{t,j} = \frac{\alpha_4 \cdot EE_{t,j}}{\beta_4 \cdot FE_i + 1} \quad (22)$$

$$SL_{t,j} = \frac{\alpha_5 \cdot EL_{t,j}}{\beta_5 \cdot FL_i + 1} \quad (23)$$

$$SS_{t,j} = \frac{\alpha_6 \cdot ES_{t,j}}{\beta_6 \cdot FS_i + 1} \quad (24)$$

$$SQ_{t,j} = \omega_1 \cdot SB_{t,j} + \omega_2 \cdot SD_{t,j} + \omega_3 \cdot SJ_{t,j} + \omega_4 \cdot SE_{t,j} + \omega_5 \cdot SL_{t,j} + \omega_6 \cdot SS_{t,j} \quad (25)$$

式中, k 是常数, ϵ 是远小于 1 的纯小数; α_{1-6} 和 β_{1-6} 是量纲调节系数; ω_{1-6} 是权重系数, 反映不同 QoS 参数对应用的相对重要程度, 其和为 1。显然, QoS 参数描述越精确, 用户对实际 QoS 的评价越高, 则用户对 QoS 的满意度越高。

如果接入网络 j 对终端 t 用户运行的 AT_i 类型应用确定的单位时间单位带宽售价为 $pr_{t,j}$, 则用户对价格的满意度如下:

$$SP_{t,j} = \begin{cases} 1, & pr_{t,j} \leq HP_n \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (26)$$

2.5 接入网络编码制式和供应商偏好满足度

终端用户对接入网络编码制式和供应商偏好的满足度如下:

$$ST_{t,j} = \begin{cases} \frac{1}{x^2}, & CI_{t,j} \in PC_t \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (27)$$

$$SR_{t,j} = \begin{cases} \frac{1}{y^2}, & PI_{t,j} \in PP_t \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (28)$$

式中, $CI_{t,j}$ 和 $PI_{t,j}$ 分别是终端 t 用户切换到接入网络 j 时使用的编码制式的标识和接入网络 j 的供应商的标识, x 和 y 分别是 $CI_{t,j}$ 和 $PI_{t,j}$ 在 PC_t 和 PP_t 中的序号, $1 \leq x \leq |PC_t|$, $1 \leq y \leq |PP_t|$ 。

2.6 运动速率和电池电量适合度

如果终端运动快, 则应考虑选择切换进入覆盖范围大的接入网络, 这样做有利于减少切换次数。如果终端当前剩余电量低, 则应考虑选择切换进入覆盖范围小的接入网络, 这样做有利于降低终端的发送和接收功耗, 延长终端工作时间。定义接入网络 j 对终端 t 当前运动速率和当前剩余电量的适合度如下:

$$SM_{t,j} = \begin{cases} \frac{1}{z^2}, & CV_t \geq VT_t \\ 1, & \text{否则} \end{cases} \quad (29)$$

$$SW_{t,j} = \begin{cases} \frac{1}{(|TIS| - z + 1)^2}, & RC_t \leq C_n \\ 1, & \text{否则} \end{cases} \quad (30)$$

式中, z 是所有接入网络类型按覆盖范围从大到小排列时 TI_j 的序号, $1 \leq z \leq |TIS|$ 。

2.7 博弈分析

使用二人博弈, 局中人是接入网络 j 和终端 t 用户。前者有两种策略 a_1 和 a_2 , 分别表示愿意和不愿意接受后者切换进入。后者有两种策略 b_1 和 b_2 , 分别表示愿意和不愿意选择切换进入前者。定义前者和后者的收益矩阵 NP 和 TP 如下:

$$NP = \begin{bmatrix} pr_{t,j} - ct_j & pr_{t,j} - ct_j \\ -\mu \cdot (pr_{t,j} - ct_j) & -(pr_{t,j} - ct_j) \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$TP = \begin{bmatrix} HP_n - pr_{t,j} & -\mu \cdot (HP_n - pr_{t,j}) \\ HP_n - pr_{t,j} & -(HP_n - pr_{t,j}) \end{bmatrix} \quad (32)$$

式中, 行对应 a_1 和 a_2 , 列对应 b_1 和 b_2 。 NP 中 np_{21} 和 np_{22} 的负号是因为前者若拒绝后者切换进入, 则会失去将要获得的收益。 μ 是惩罚因子^[21], 表示前者若拒绝愿意选择切换进入它的后者, 则会对后者今后是否愿意选择切换进入前者造成负面影响, 取大于 1 的值。 TP 中 tp_{12} 和 tp_{22} 的负号以及 μ 的含义与 NP 中类似。如果下列不等式满足^[15]:

$$\begin{cases} np_{c^*d^*} \geq np_{cd^*} \\ tp_{c^*d^*} \geq tp_{cd^*} \end{cases} \quad (33)$$

则 $\{a^*, b_d^*\}$ 使各方收益达到 Nash 均衡, $c^*, d^*, c, d=1, 2$ 。

2.8 效用计算

引入权重系数矩阵 $\Lambda = [\lambda_1 \ \lambda_2 \ \lambda_3 \ \lambda_4 \ \lambda_5 \ \lambda_6]$, 用来反映应用 QoS 需求、接入网络单位时间单位带宽售价与用户愿付费用、用户对接入网络编码制式的偏好、用户对接入网络供应商的偏好、终端当前运动速率和终端当前剩余电量等因素在为终端确定切换进入的接入网络的决策中的相对重要程度, 元素之和为 1。引入评价矩阵 $G_{t,j} = [SQ_{t,j} \ SP_{t,j} \ ST_{t,j} \ SR_{t,j} \ SM_{t,j} \ SW_{t,j}]^T$ 。引入调节系数 Ω , 反映博弈各方是否达到 Nash 均衡对效用的影响。

$$\Omega = \begin{cases} 1 & \text{Nash 均衡} \\ < 1 & \text{非 Nash 均衡} \end{cases} \quad (34)$$

定义运行 AT_i 类型应用的终端 t 因切换进入接入网络 j 而产生的用户效用和网络提供方效用如下:

$$uu_{t,j} = \begin{cases} \Omega \cdot \Lambda \cdot G_{t,j} \cdot \frac{(HP_n - pr_{t,j})}{HP_n}, & t \text{ 切换进入 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (35)$$

$$nu_{t,j} = \begin{cases} \Omega \cdot \Lambda \cdot G_{t,j} \cdot \frac{(pr_{t,j} - ct_j)}{pr_{t,j}}, & t \text{ 切换进入 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (36)$$

显然, 效用越大越好。

2.9 数学模型

本文目标是寻找使得用户和网络提供方效用达到或接近 Nash 均衡下 Pareto 最优的切换决策方案, 数学描述如下:

$$\text{maximize} \{uu_{t,j}\} \quad (37)$$

$$\text{maximize} \{nu_{t,j}\} \quad (38)$$

$$\text{maximize} \left\{ \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^M uu_{t,j} \right\} \quad (39)$$

$$\text{maximize} \left\{ \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^M nu_{t,j} \right\} \quad (40)$$

$$\text{maximize} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (uu_{i,j} + nu_{i,j}) \right\} \quad (41)$$

3 算法设计

PMA^[14]是一种模拟社会领域具有优化特征的群体演化过程的算法。人口是有生命的群体,为了生存和发展,人口一直不断地进行移动。一般而言,人口移动包括人口流动和人口迁移两种类型:前者是人们在居留的地域环境上的移动,带有某种自发性质,移居规律性相对较差;后者是人们跨过特定的地域界限而改变常住地的移动,通常是带有选择性质的人口行为。物质因素或经济因素是人口迁移的主要因素,人口重心随经济重心转移,即人们一般总是迁往经济发展水平高和就业机会多的优惠区域。随着人口的不断流入,优惠区域的人口密度会不断增加,相对过剩人口不断增多,往往又会出现向人口密度低的未开发地区或谋生相对容易的地区扩散的现象。人口迁移的基本框架可以归纳如下:人们在原籍进行人口流动;受优惠区域吸引出现人口迁移;人口在优惠区域进行流动,直到人口压力达到一定限度;人口从优惠区域迁出,向外扩散,寻找新的机会。在持续不断的人口迁移过程中,人口一方面经迁移而聚集到优惠区域,另一方面又因人口压力的增加而迁出优惠区域向外扩散,在不断的聚集和扩散的矛盾运动中寻找优惠区域。PMA就是模拟人口迁移机制而建立的一种群体智能优化算法。它模拟了人口随经济重心而转移以及随人口压力增加而扩散的机制,前者促使算法选择较好的区域搜索,后者可在一定程度上避免陷入局部最优。实现PMA时,为了降低算法运行开销,进行了适当简化。考虑到人口流动的规律性较差,同时为使区域内各处搜索机会均等,将人口流动处理成其在所在地的均匀随机变动。模拟时,不是在每一区域内随机生成若干人,然后这些人随机移动,而是采用更为简单的等效处理方法,用一个人的多次随机移动来等效多个人的一次随机移动。优惠区域吸引其它区域人口过来时,迁移过程简化为所有人都向优惠区域迁移,即在以当前吸引力最强的人的所在地为核心的优惠区域内重新随机生成全部人口的所在地。优惠区域依当前吸引力最强的人的所在地的变动而重新界定,以模拟人口重心随经济重心的转移。通过收缩优惠区域范围,模拟人口压力的增加。当优惠区域收缩到一定限度后,人口开始向外扩散,通过在搜索空间内重新随机生成全部人口的所在地模拟。

本文基于上述PMA设计切换决策算法,寻找将 N 个用户切换到 M 个接入网络中的最优决策方案。

3.1 构造终端可接入网络序列

步骤1 对每个终端 t ,初始化其可接入网络集合 $AN_t = \varphi, t=1, \dots, N$ 。

步骤2 $t=1$ 。

步骤3 $j=1$ 。

步骤4 如果 $TAS_j \subseteq NAS_j$ 且 $WF_j \subseteq FR_j$ 且 $CS_j \cap MCS_j \neq \varphi$ 且 $CV_j \leq MV_j$ 且 $TP_j \geq RS_j$ 且 $(HP_{ij} \geq pr_{ij})$ 且 $(AB_j - BW_j) \geq AB_j^{\min}$,则 $AN_t = AN_t \cup \{j\}$ 。

步骤5 $j=j+1$ 。

步骤6 如果 $j \leq M$,则转步骤4。

步骤7 如果 $AN_t = \varphi$,则通知终端 t 不能切换并将其从待切换终端集合中去掉。

步骤8 $t=t+1$ 。

步骤9 若 $t \leq N$,则转步骤3。

步骤10 对 AN_t ,构造与之对应的可接入网络序列 AS_t 。这里, AS_t 的元素和 AN_t 的完全相同,只是 AS_t 的元素是有序的,元素序号从0开始。

3.2 解编码与吸引力函数

人口所在地代表问题解,编码采用 N 维向量表示。对于个人 q ,其当前所在地 P_q 记作 (p_{q1}, \dots, p_{qN}) ,代表 N 个终端对 M 个接入网络的一种切换方案, p_{qt} 是终端 t 切换到接入网络的编号在 AS_t 中的序号。

P_q 的吸引力函数 $FT(P_q)$ 定义如下:

$$FT(P_q) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{uu_{i,p_{qt}}} + \frac{1}{nu_{i,p_{qt}}} \right) \quad (42)$$

式中, p_{qt} 表示 AS_t 中的第 p_{qt} 个元素即接入网络编号。显然, $FT(P_q)$ 值越小,用户和网络提供方效用越大且越均衡,各方效用越接近或达到Nash均衡下的Pareto最优,对应的解即切换方案越好。

3.3 人口原籍生成

人口原籍即人口初始所在地亦即本文初始解集生成过程如下:

步骤1 设定人口数量 PS 。

步骤2 $q=1$ 。

步骤3 $t=1$ 。

步骤4 从 AN_t 中任选一接入网络作为终端 t 切换进入的网络,将其在 AS_t 中的序号赋值给 p_{qt} 。

步骤5 $t=t+1$ 。

步骤6 如果 $t \leq N$,则转步骤4。

步骤7 $q=q+1$ 。

步骤8 如果 $q \leq PS$,则转步骤3,否则初始解集生成完毕。

3.4 算法描述

步骤1 输入 M 个接入网络和 N 个待切换终端。

步骤2 根据3.1节,为每个终端 t 构造终端可接入网络序列 $AS_t, t=1, \dots, N$ 。

步骤3 设定迭代次数 IT ,设定人口数量 PS ,精英解集 $ES = \varphi$,已迭代次数 $it=0$ 。

步骤4 根据3.3节,生成初始解集。

步骤5 确定第 q 个区域的中心为 P_q ,确定第 q 个区域的下上界为 $P_q \pm \delta_q$,其中, $\delta_q = \langle \delta_{q1}, \dots, \delta_{qN} \rangle$:

$$\delta_{qt} = \frac{|AS_t|}{2 \cdot PS} \quad (43)$$

式中, $|AS_t|$ 表示 AS_t 中的元素个数, $q=1, 2, \dots, PS, t=1, \dots, N$ 。

步骤6 根据式(42),计算 $FT(P_q), q=1, 2, \dots, PS$;记最小吸引力函数值为 FT^* ,把与 FT^* 对应的 P_q 放入 ES ;记与 FT^* 对应的 P_q (若有多个,则任取其一)为 P_q^* 。

步骤7 设定人口原籍区域流动次数 MT 。

步骤8 已流动次数计数器 $mt=0$ 。

步骤9 在每个原籍区域内进行人口流动,按式(44)均匀随机变动每个人的所在地 P_q :

$$p_{qt} = \lfloor 2 \cdot \delta_{qt} \cdot rd + (p_{qt} - \delta_{qt}) \rfloor \bmod |AS_t| \quad (44)$$

式中, $q=1, 2, \dots, PS, t=1, \dots, N, rd$ 是一随机数。

步骤10 根据式(42),计算 $FT(P_q), q=1, 2, \dots, PS$;记

最小吸引力函数值为 FT^* ; 若 $FT^* < FT(P_g^0)$, 则用与 FT^* 对应的 P_q 取代 ES 中的原有元素, 记与 FT^* 对应的 P_q (若有多个, 则任取其一) 为 P_g^0 ; 若 $FT^* = FT(P_g^0)$, 则把与 FT^* 对应的 P_q 并入 ES , 从 ES 中任取一元素作为 P_g^0 。

步骤 11 $mt = mt + 1$ 。

步骤 12 若 $mt < MT$, 则转步骤 9。

步骤 13 人口向优惠区域迁移且随经济重心转移, 即在以 P_g^0 为中心、 $P_q \pm \delta_q$ 为上下界的优惠区域内均匀随机生成 PS 个新的人口所在地, 替换现有的 PS 个人口所在地。

步骤 14 同步骤 10。

步骤 15 收缩优惠区域: $\delta_q = (1 - \Delta) \cdot \delta_q, q = 1, 2, \dots, PS$ 。这里, Δ 是收缩系数, $0 < \Delta < 1$ 。

步骤 16 若 $\delta_{q_i}^{max} > \alpha$, 则转步骤 13。这里, α 是人口压力阈值, $\delta_{q_i}^{max}$ 是 δ_{q_i} 的最大值, $i = 1, \dots, N$ 。

步骤 17 开始人口扩散, 根据 3.3 节, 重新随机生成 PS 个人的所在地。

步骤 18 同步骤 10。

步骤 19 $it = it + 1$ 。

步骤 20 若 $it < IT$, 则转步骤 8; 否则, P_g^0 对应的切换方案即为问题解, 算法结束。

在该算法中, 步骤 8—步骤 12 模拟人口在原籍流动的过程, 步骤 13—步骤 16 模拟人口向优惠区域迁移且人口重心随经济重心转移的过程, 步骤 17 模拟人口扩散的过程。

4 仿真实验与性能评价

基于网络仿真器 NS2 (network simulator 2)^[22] 仿真实现了上述切换决策机制。在如图 1 所示的 3 种不同类型接入网络重叠覆盖的六角形蜂窝拓扑上仿真运行本文提出的切换决策机制、基于贪心策略^[23]的切换决策机制以及多服务垂直切换决策机制^[24] (以下分别简称机制 P、机制 G 和机制 M) 各 500 次, 对用户效用 (UU)、网络提供方效用 (NU)、综合效用 ($CU = UU + NU$)、Nash 均衡下 Pareto 最优解比例 (PN)、QoS 满意度 (SQ)、价格满意度 (SP)、接入网络编码制式偏好满足度 (ST)、接入网络供应商偏好满足度 (SR)、运动速率适合度 (SM)、电池电量适合度 (SW) 在不同切换终端数下的平均值进行了比较。表 1 和表 2 是机制 P、机制 G 和机制 M 的性能比较结果。

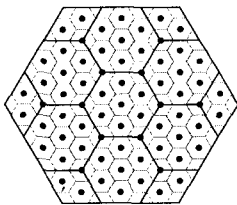


图 1 仿真拓扑

表 1 性能评价

P:G:M	切换终端数		
	3	5	10
UU	1.147 ± 0.912 ± 1.000	1.249 ± 0.938 ± 1.000	1.304 ± 0.944 ± 1.000
NU	1.329 ± 0.953 ± 1.000	1.296 ± 0.932 ± 1.000	1.342 ± 0.937 ± 1.000
CU	1.226 ± 0.930 ± 1.000	1.270 ± 0.935 ± 1.000	1.322 ± 0.941 ± 1.000
PN	1.227 ± 0.994 ± 1.000	1.235 ± 1.000 ± 1.000	1.311 ± 0.998 ± 1.000
SQ	0.600 ± 0.427 ± 1.000	0.588 ± 0.403 ± 1.000	0.575 ± 0.378 ± 1.000
SP	2.044 ± 1.656 ± 1.000	2.106 ± 1.705 ± 1.000	2.184 ± 1.663 ± 1.000

ST	1.527 ± 1.126 ± 1.000	1.441 ± 1.065 ± 1.000	1.425 ± 0.957 ± 1.000
SR	1.558 ± 1.200 ± 1.000	1.640 ± 1.262 ± 1.000	1.539 ± 1.087 ± 1.000
SM	1.623 ± 1.205 ± 1.000	1.865 ± 1.271 ± 1.000	1.914 ± 1.207 ± 1.000
SW	1.848 ± 1.189 ± 1.000	1.819 ± 1.095 ± 1.000	1.943 ± 1.138 ± 1.000

表 2 性能评价(续)

P:G:M	切换终端数	
	20	50
UU	1.343 ± 0.879 ± 1.000	1.363 ± 0.842 ± 1.000
NU	1.493 ± 1.015 ± 1.000	1.749 ± 1.021 ± 1.000
CU	1.405 ± 0.935 ± 1.000	1.490 ± 0.910 ± 1.000
PN	1.348 ± 1.003 ± 1.000	1.438 ± 1.065 ± 1.000
SQ	0.545 ± 0.349 ± 1.000	0.437 ± 0.308 ± 1.000
SP	2.117 ± 1.575 ± 1.000	2.150 ± 1.592 ± 1.000
ST	1.608 ± 1.070 ± 1.000	1.621 ± 0.948 ± 1.000
SR	1.587 ± 1.198 ± 1.000	1.672 ± 1.045 ± 1.000
SM	2.153 ± 1.362 ± 1.000	2.260 ± 1.355 ± 1.000
SW	2.038 ± 1.080 ± 1.000	2.115 ± 1.034 ± 1.000

对于用户效用、网络提供方效用、综合效用和 Nash 均衡下的 Pareto 最优解比例, 机制 1 优于机制 2 和机制 3。这是因为机制 1 在寻找最优解的过程中不仅考虑了用户和网络提供方博弈时 Nash 均衡是否对用户效用和网络提供方效用产生影响, 而且促进各方效用最大化且尽可能均衡, 从而使解达到或接近 Nash 均衡下的 Pareto 最优, 而机制 2 和机制 3 在求解过程中未考虑这些因素。

对于价格满意度、接入网络编码制式偏好满足度、接入网络供应商偏好满足度、运动速率适合度和电池电量适合度, 机制 1 均远优于机制 2 和机制 3, 这是因为机制 1 在计算效用时全面考虑了这些指标的满足, 在寻找最优解的过程中追求效用最大化使得上述指标均得到了优化, 而机制 2 和机制 3 在求解过程中均未考虑上述因素。机制 1 在 QoS 满意度方面虽低于机制 3 但高于机制 2, 这是因为机制 3 在切换决策时仅考虑 QoS, 机制 2 未考虑 QoS, 机制 1 综合考虑各方面因素而非只考虑 QoS。

结束语 本文提出一种基于人口迁移的 ABC 支持型切换决策机制。基于 NS2 进行了仿真实验和性能评价, 结果表明该机制是有效的。目前, 正在设计并仿真实验基于其他群体智能算法 (如粒子群和人工鱼群等) 的 ABC 支持型切换决策机制, 以便进一步比较本文提出的切换决策模型在不同算法下的性能, 从而进一步优化模型。同时, 正在开发原型实现, 以进一步验证和提高本文提出的模型和算法的实用性。

参考文献

- [1] Gustafsson E, Jonsson A. Always best connected [J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(1): 49-55
- [2] Theodore B Z, Konstantinos G V, Christos P T, et al. Global roaming in next-generation networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(2): 145-151
- [3] McNair J, Zhu F. Vertical handoffs in fourth-generation multi-network environments [J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(3): 8-15
- [4] Bob B, Vasilios D, Oliver H. A market managed multi-service internet [J]. Computer Communications, 2003, 26(4): 404-414
- [5] Shi Yan, Chen Shan-zhi, Li Yu-hong, et al. An application-oriented cooperative vertical handoff decision method for multi-interface mobile terminals [C]// Sophia Antipolis, France. ITST'07.

- Piscataway; IEEE Computer Society, 2007; 1-5
- [6] Won-Ik Kim, Bong-Ju Lee, Jae-Su Song, et al. Ping-Pong avoidance algorithm for vertical handover in wireless overlay networks [C]//IEEE VTC'07. Piscataway; IEEE Computer Society, 2007; 1509-1512
- [7] Stevens-Navarro E, Lin Yuxia, Wong V W S. An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008; 1243-1254
- [8] Chen L-J, Sun T, Chen B, et al. A smart decision model for vertical handoff [C]//ANWIRE'04. Piscataway; IEEE Inc., 2004; 1-5
- [9] Hassawa A, Nasser N, Hassanein H. Tramcar: a context-aware cross-layer architecture for next generation heterogeneous wireless networks [C]//ICC'06. Piscataway; IEEE Inc., 2006; 240-245
- [10] Song Qing-yang, Jamalipour A. A quality of service negotiation-based vertical handoff decision scheme in heterogeneous wireless systems [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 191; 1059-1074
- [11] 时岩, 陈山枝. 一种基于 QoS 满意度评价的 mSCTP 垂直切换决策方法 [J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(2); 9-13
- [12] 刘敏, 李忠诚, 过晓冰. 一种基于速度感知的垂直切换算法 [J]. 电子学报, 2008, 30(6); 1198-1201
- [13] 刘侠, 蒋铃鸽, 何晨. 一种基于模糊逻辑的预判决辅助垂直切换算法 [J]. 电子学报, 2007, 30(10); 1989-1993
- [14] 周永华, 毛宗源. 一种新的全局优化搜索算法—人口迁移算法 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3); 1-5
- [15] 宋承先. 现代西方经济学(微观经济学) [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2004; 515-521
- [16] 王兴伟, 郭磊, 秦培玉, 等. 一种 ABC 支持型接入网络选择机制 [OL]. 中国科技论文在线. http://www.paper.edu.cn/paper.php?serial_number=200909-109
- [17] Blake S. An architecture for differentiated services. RFC 2475, 1998. [OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- [18] Odlyzko A. Paris metro pricing: The minimalist differentiate services solution [C]//NJ, USA. IEEE/IFIP IWQoS'99. Piscataway; IEEE Inc., 1999. 559-561
- [19] Maillé P, Tuffin B. Pricing the Internet with multibid auctions [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, 14(5); 992-1004
- [20] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用(第三版) [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001; 76-79
- [21] Cao X R, Shen H X, Mילו R, et al. Internet pricing with a game theoretical approach: concepts and examples [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(2); 208-216
- [22] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003; 1-9
- [23] 王晓东. 计算机算法设计与分析(第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005; 86-113
- [24] Zhu Fang, McNair J. Multiservice vertical handoff decision algorithms [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2006; 1-13

(上接第 51 页)

- [36] Hein J. Reconstructing evolution of sequences subject to recombination using parsimony [J]. Math Biosci, 1990, 98; 185-200
- [37] Jin G H, Nakhleh L, Snir S, et al. Efficient parsimony-based methods for phylogenetic network reconstruction [J]. Bioinformatics, 2006, 23; e123-e128
- [38] Sridhar S, Lam F, Billelloch G E, et al. Direct maximum parsimony phylogeny reconstruction from genotype data [J]. BMC Bioinformatics, 2007, 8; 472
- [39] Foulds L R, Graham R L. The steiner tree problem in phylogeny is np-complete [J]. Adv Appl Math, 1982, 3; 4-49
- [40] Felsenstein J. Evolutionary trees from DNA sequences; a maximum likelihood approach [J]. J Mol Evol, 1981, 17; 368-376
- [41] Saitou N, Nei M. The number of nucleotides required to determine the branching order of three species with special reference to the human-chimpanzee-gorilla divergence [J]. J Mol Evol, 1986, 24; 189-204
- [42] Kidd K K, Sgaramella-Zonta L A. Phylogenetic analysis: concepts and methods [J]. Am J Hum Genet, 1971, 23; 235-252
- [43] Sokal R R, Sneath P H A. Numerical Taxonomy [M]. San Francisco, CA; W. H. Freeman and Co, 1963
- [44] Saitou N, Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees [J]. Mol Biol Evol, 1987, 4; 406-425
- [45] Studier J A, Keppler K J, et al. A note on the neighbor-joining algorithm of Saitou and Nei The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees [J]. Mol Biol Evol, 1988, 5; 729-731
- [46] Bruno W J, Succi N D, Halpern A L. Weighted neighbor joining: a likelihood-based approach to distance-based phylogeny reconstruction [J]. Mol Biol Evol, 2000, 17; 189-197
- [47] Gascuel O. BIONJ: An improved version of the NJ algorithm based on a simple model of sequence data [J]. Mol Biol Evol, 1997, 14; 685-695
- [48] Desper R, Gascuel O. Fast and accurate phylogeny reconstruction algorithms based on the Minimum-Evolution principle [J]. J Compt Biol, 2002, 19; 687-705
- [49] Criscuolo A, Gascuel O. Fast NJ-like algorithms to deal with incomplete distance matrices [J]. BMC Bioinformatics, 2008, 9; 166
- [50] Bryant D, Moulton V. Neighbor-net: an agglomerative method for the construction of phylogenetic networks [J]. Mol Biol Evol, 2004, 21(2); 255-256