

3G 移动网络中逆向 GLR 故障恢复算法及分析

江虹^① 张宏伟^②

^①(西南科技大学信息工程学院 绵阳 621010)

^②(联通公司绵阳分公司 绵阳 620000)

摘要: 在 3G 网络中, 当漫游用户在网关位置寄存器(GLR)中的位置信息不正确时, 其位置查询将失败, 此时将严重恶化系统性能, 而传统的位置恢复算法需占用大量长途电路资源。为减少 GLR 位置恢复过程中对长途电路资源的占有及缩短 GLR 故障恢复时延, 本文提出了一种新的算法——逆向 GLR 故障恢复算法。该算法充分利用用户在访问位置寄存器(VLR)中的用户信息, 从而避免在恢复过程中 GLR 和归属位置寄存器(HLR)的长途信令开销。通过对算法的性能作分析, 证明所提出的算法是可行的。

关键词: 移动网络; 网关位置寄存器; 位置信息; 入呼

中图分类号: TN915.07

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)04-0915-05

Analysis of Reversal GLR Failure Recovery Algorithm in 3G Mobile Networks

Jiang Hong^① Zhang Hong-wei^②

^①(Information engineering College, Southwest Science and Technology University, Mianyang 621010, China)

^②(China Unicom MianYang Branch, Mianyang 620000, China)

Abstract: In 3G mobile networks, when the location information of a roaming user in a Gateway Location Register (GLR) is incorrect or obsolete, the location tracking before recovery will fail which severely degrades system performance. Traditional location recovery algorithms needed to occupy a great many long-distance signaling circuit resources. In order to reduce occupation on long-distance signaling circuit and GLR failure recovery interval, a new algorithm, referred to as reversal GLR failure recovery algorithm, is proposed in this paper. The proposed algorithm fully uses corresponding information in Visited Location Register(VLR) to avoid long-distance signaling cost between GLR and Home Location Register(HLR). Through performance analysis, the algorithm is proved to be feasible.

Key words: Mobile networks; Gateway location register; Location information; Incoming call

1 引言

在 ANSI-41 及 Global System for Mobile communication Mobile Application Part (GSM MAP) 2G 蜂窝网络中, 系统采用二层数据库策略实现移动管理, 即归属位置寄存器(HLR)与访问位置寄存器(VLR)。为有效减小移动系统中漫游用户长途移动管理信令负荷(特别是国际长途漫游移动管理信令负荷), 在 3G 核心网络规范 3GPP23.119 中引入了可选网关位置寄存器 (Gateway Location Register GLR)^[1]网元。GLR 数据库网元位于 HLR 与访问网络 (visited network) 处的 VLR/SGSN 之间(HLR 与 GLR 一般通过国际电路连接, 如中国与美国; GLR 与访问网络处各 VLR 通过国内电路连接, 如旧金山与洛杉矶), 它处理漫游用户在访问网络处的位置管理而不用用户每次改变 VLR 覆盖区都访问 HLR (见图 1)。在有 GLR 的 3G 网络中, 用户在

访问网络处的首次位置更新操作需要从 HLR 传送用户 profile 信息, 用户在访问网络处的后续位置更新中, GLR 类似于用户在访问网络处的 HLR, 处理从访问网络处各 VLR 传来的位置更新消息。对归属网络而言, GLR 的作用与 VLR 雷同(即 HLR 看不到 GLR 的存在)。当用户改变 GLR 覆盖区时, HLR 将更新 GLR 地址信息, 同时向用户原所在 GLR 发位置注销消息, 原 GLR 收到注销消息后, 删除该用户在原 GLR 中用户信息并同时要求用户原所在 VLR 执行注销操作。当漫游用户有入呼需要处理时, 呼叫起始交换机如

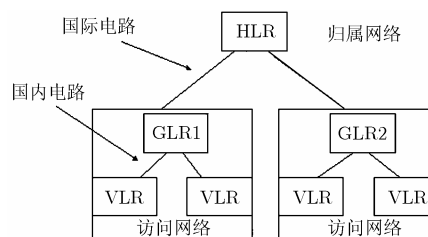


图 1 3G 网络中的移动管理数据库结构

2005-08-27 收到, 2006-03-24 改回

国家 863 计划, 四川省教育厅和西南科技大学重点项目资助课题

GMSC 向用户归属 HLR 查询当前所在的 VLR 覆盖区地址, 该查询消息通过 GLR 转发到当前所在的 VLR, VLR 回复的临时地址消息通过 GLR 及 HLR 转发到起始交换机, 起始交换机据此建立与目的 MSC 的话务中继。

在有 GLR 的 3G 网络中, 当 GLR 中用户位置信息发生故障或丢失时, GLR 向 VLR/SGSN 发 Reset 消息, VLR 收到该 Reset 消息后, 由用户的起呼、位置更新请求及入呼事件触发向 GLR 发 Update location or Restore data 消息, GLR 向 HLR 转发该位置更新或数据恢复消息, HLR 将用户 profile 数据传向 GLR 作为对该消息的响应, GLR 存储用户数据同时向 VLR 转发该用户数据, GLR 的恢复流程见图 2, 其详细介绍可参见文献[1]。由于 GLR 与 HLR 间一般是通过国际长途信令电路连接, 其间的信令和话务接续处理都涉及长途信令操作, 使得 GLR 中的用户地址信息对呼叫处理有非常重要的作用。当 GLR 中的地址信息不正确时, 位置查询(如入呼操作)将失败, 同时浪费宝贵的长途信令电路资源, 另外, 当 GLR 中大量用户 profile 信息出现故障时, 有可能使 GLR、长途信令电路出现拥塞。

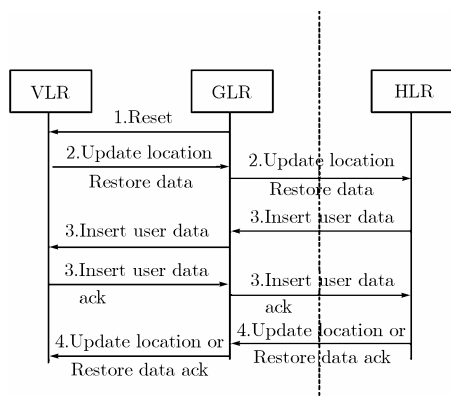


图2 3GPPTS23.119 规范中 GLR 的恢复流程

移动网中 HLR, VLR 的故障分析已有较广泛的研究^[2-6], 但据作者所知, 目前对有 GLR 的 3G 网络移动管理研究中, 主要集中在系统登记注销研究^[7]、位置更新及寻呼研究^[8]等, GLR 的故障研究还比较缺乏。本文通过对 3G 中 GLR 故障恢复规范^[1]的分析, 从减少对国际长途电路资源的占用、减少 GLR 恢复时间和提高系统可靠性的角度提出一种新的 GLR 故障恢复方法: 逆向 GLR 故障恢复算法, 本文算法的思路是从访问网络处当前所在的 VLR 向 GLR 恢复用户 profile 信息, 而不是从 HLR 向 GLR 恢复用户 profile 信息。

本文第 2 节介绍新的 GLR 故障恢复算法, 第 3、4 节对算法做出性能分析和数字分析, 最后是结束语。

2 逆向 GLR 故障恢复算法

实际运营中, GLR 一般控制若干个 VLR。系统处于正常运营时, 用户在 HLR 的地址信息是用户目前所在的 VLR 所对应的 GLR 地址信息, GLR 中的地址信息是用户目前所在的 VLR 地址, 且用户在 HLR, GLR 和 VLR 的用户信息

是一致的。在 GLR 中的用户地址信息出现故障时刻, 用户在 HLR 中的用户信息及在 VLR 中的用户信息是一致的(注: 鉴权数据状态可能不一致, 但对故障恢复影响不大)。另外, 从实际运营经验知, 绝大部分漫游用户(大于 70%)每天都有至少 6 小时的关机时间(主要是 0 点至 6 点左右), 显然, 对处于关机状态的故障用户信息可以延后恢复而不影响用户服务质量, 这样可有效减少对 GLR 的负荷压力。逆向 GLR 故障恢复算法利用这些特点, 以尽可能小的代价恢复在 GLR 中的故障用户信息。当 GLR 发生故障时, 地址信息和用户信息不从 HLR 处恢复, 而是从 VLR 处恢复。直观上看, 新算法可极大节约 GLR 与 HLR 之间的国际长途电路开销, 同时也极大减少了用户信息恢复的时延。由于在 GLR 故障恢复期间有可能出现用户属性改变的情况(如鉴权数据、业务属性等), 逆向 GLR 故障恢复算法需要协调 GLR 与 VLR 对该问题的处理。VLR 在收到 GLR 的 Reset 消息时(表示该用户在 GLR 的用户信息出现故障), 根据用户当前状态执行不同的操作: (1)若用户处于活动状态(开机状态), VLR 将在某随机时间间隔后将用户 profile 信息发送到 GLR(设定随机时间间隔的目的是避免 GLR 大量用户信息出现故障时, 可能对 GLR 形成的拥塞), GLR 从 VLR 收到该用户信息后, 就可恢复用户在 GLR 中的用户信息; (2)若用户处于关机状态, VLR 将删除该用户信息, 同时向 GLR 发送删除确认消息, 该消息将让用户开机后在 GLR 执行首次登记操作。若 GLR 在收到 VLR 响应消息(用户信息或删除确认)前收到从 HLR 发送的用户属性改变消息, GLR 等待从 VLR 回送的响应消息, 若收到用户信息, 则 GLR 改变用户属性且转发该消息到 VLR, 使 VLR 执行用户属性改变操作, 并同时向 HLR 发送改变确认消息; 若 GLR 收到删除确认, GLR 将向 HLR 发送用户关机消息(关机用户开机执行首次登记时, 将使 HLR 恢复用户的正常状态)。相关算法伪代码如下:

Reversal failure recovery of GLR algorithm GLR SIDE

```
User's profile failure occurs in the GLR
GLR sends Reset message to VLR
GLR waits for response from VLR
Waits
IF the response is deletion ack message THEN
/user is power off/
The GLR sends power off message of this user to HLR
ELSE BEGIN /user is active,
VLR responses with profile/
IF GLR receives user's profile change message from
HLR before recovery THEN
BEGIN
The GLR recovers and changes the user's profile
```

```

    The GLR send change message to VLR / VLR
    will perform change procedure/
    END
    ELSE The GLR recovers the user's profile
    /without profile change from HLR/
    END
Reversal failure recovery of GLR algorithm VLR
SIDE
    VLR receives Reset message from GLR
    IF corresponding user in VLR is active THEN
    BEGIN
        The VLR sends the user's profile to GLR after a
        period  $t_{dl}$ 
    END
    ELSE BEGIN
        /user in VLR is power off/
        VLR deletes the user's profile
        VLR sends deletion ack message to GLR
    END

```

3 GLR 故障恢复的性能分析

从逆向 GLR 故障恢复算法知,若用户在 GLR 发生故障时处于关机状态,该关机信息将被 HLR 所记录,即用户后续入呼将不再访问国际长途电路资源,使关机用户不对 GLR 在用户信息故障期间形成更大的处理负荷压力;用户在开机时将执行在 GLR 覆盖区的首次位置更新,由于 GLR 发生故障的概率远小于用户关机的概率,算法可避免首次位置更新的乒乓效应。在 3G 规范的 GLR 用户信息故障恢复中,若用户处于关机状态,用户的入呼将访问国际长途电路并失败。若用户在 GLR 发生故障时处于开机状态,用户信息将从 VLR 传向 GLR,而不是规范中从 HLR 传向 GLR。另外,规范中 VLR 向 GLR 发送信息恢复请求依赖于用户起呼、入呼及位置更新等事件,显然系统对该类事件不可控,若 GLR 用户信息故障发生在业务忙时,大量的呼叫事件有可能造成 GLR 性能急剧下降,并有可能拥塞国际长途电路;本文提出的算法主要依赖于 t_{dl} 时间间隔,该间隔可根据系统负荷作适当调整。设 C_{HG} 表示一个消息在 HLR 与 GLR 之间的传输开销, C_{GV} 表示 GLR 与 VLR 之间的消息传输开销; t_{HG} 表示 HLR 与 GLR 之间消息传输延迟, t_{GV} 表示 GLR 与 VLR 之间的消息传输延迟;同时设 C_H 与 C_V 表示 HLR 与 VLR 数据库访问开销。另外,假设 t_{dl} 具有均值为 $1/\mu$ 及 PDF 为 $f_{dl}(t)$ 的随机变量,用户的起呼及入呼时间间隔服从参数为 λ_0 和 λ_n 的指数分布。

3.1 用户处于关机状态时 GLR 用户信息发生故障

由于用户处于关机状态时,不存在入呼丢失问题,恢复操作主要涉及到VLR, GLR及HLR之间的状态信令联系(如传送“删除状态”消息),其开销显然远小于规范中的位置恢复开销。本文主要讨论与规范恢复算法相比,逆向GLR故障恢复算法可降低关机用户的入呼处理开销情况。图3是GLR发生故障时,用户关机时间图关系。设用户关机时间间隔为服从PDF为 $f_{c1}(t)$ 和均值为 $1/\eta$ 的一般分布,从随机观察者理论^[9],推导如下:

$$f_{c2}(t) = \eta \int_t^\infty f_{c1}(\tau) d\tau = \eta [1 - F_{c1}(t)]$$

$$f_{c2}^*(s) = \frac{\eta}{s} [1 - f_{c1}^*(s)]$$
(1)

设 E_n 为GLR故障与开机间隔内用户的入呼期望值,由 Little公式可得

$$E_n = \lambda a E_{tc2}$$
(2)

与 GLR 规范中的恢复算法相比,逆向 GLR 故障恢复算法可降低关机用户的呼叫建立开销为

$$C_{r1} = (2C_{HG} + 2C_{GV} + C_G + C_V) \lambda a E_{tc2}$$
(3)

显然,关机用户的入呼越多,本文提出的算法优势越明显,同时,如果关机用户的入呼正好发生在 GLR 用户信息故障期间,本文所提出的算法还能避免这部分用户的位置管理对 GLR 的进一步负荷压力,根据我们的运营经验,这种负荷压力对业务忙时的 GLR 可能是致命的。

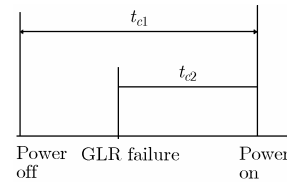


图3 用户关机时的时间图

3.2 用户处于开机状态时 GLR 用户信息发生故障

当用户处于开机状态时,用户profile信息的恢复只涉及到对GLR与VLR的访问,而规范中还涉及到访问HLR的信令操作。图4说明了GLR中用户数据恢复时间图,对于每次用户信息的恢复,与规范^[1]中的GLR故障恢复算法相比,本文算法的恢复开销始终远远小于规范中的恢复开销,可节约的恢复开销为

$$C_{r2} = (4C_{HG} + C_H + C_V)$$
(4)

实际运营中, C_H 与 C_V 一般是常数,则本文算法可节约的开销将随HLR与GLR间的传输开销增大而增大(即GLR

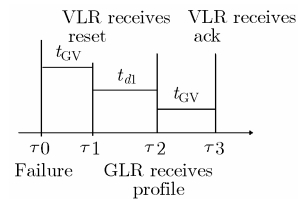


图4 用户开机时的 GLR 恢复时间图

越远离 HLR, 本文算法优势越明显)。

设 GLR 与 VLR 间消息处理传输延迟是常数, 则 GLR 中用户故障信息恢复时间均值为

$$E[t_r] = E[t_{d1}] + 2t_{GV} = 2t_{GV} + 1/\mu \quad (5)$$

规范中的 GLR 用户故障信息恢复时间均值为

$$E[t_{rs}] = E[\min(t_a, t_o, t_s)] + 5t_{GV} + 4t_{HG} \quad (6)$$

式中 t_a 与 t_o 分别代表用户入呼序列与出呼序列的时间间隔, t_s 代表 PDF 为 $f_s(t)$ 且均值为 $1/\phi$ 的位置区(LA)逗留时间。

设 $x1 = \min(t_a, t_o, t_s) = \min(x2, t_s)$, $x2 = \min(t_a, t_o)$

$$\left. \begin{aligned} f_{x2}(t) &= \lambda_a e^{-\lambda_a t} \int_t^\infty \lambda_o e^{-\lambda_o \tau} d\tau + \lambda_o e^{-\lambda_o t} \int_t^\infty \lambda_a e^{-\lambda_a \tau} d\tau \\ &= (\lambda_o + \lambda_a) e^{-(\lambda_o + \lambda_a)t} \\ f_{x1}(t) &= f_{x2}(t) \int_t^\infty f_s(\tau) d\tau + f_s(t) \int_t^\infty f_{x1}(\tau) d\tau \\ f_{x1}^*(s) &= f_s^*(\lambda_o + \lambda_a + s) + \frac{\lambda_o + \lambda_a}{\lambda_o + \lambda_a + s} [1 - f_s^*(\lambda_o + \lambda_a + s)] \end{aligned} \right\} (7)$$

由式(5)、式(6)和式(7), 可很容易得到两种方案的恢复间隔比较, 显然, 本文提出的算法在恢复间隔上远远优于传统的恢复间隔(主要原因是减少了对国际长途信令电路的占用)。

4 数据分析

设用户关机时间服从爱尔兰分布, 则 $f_{c1}^*(s) =$

$$\frac{(m\eta)^m}{(m\eta + s)^m}, \quad m \text{ 为整数, 由式(1)可得}$$

$$f_{c2}^*(s) = \frac{\eta}{s} \left[1 - \frac{(m\eta)^m}{(m\eta + s)^m} \right] = \frac{\eta}{(m\eta + s)^m} \sum_{i=1}^m \binom{m}{i} (m\eta)^{m-i} s^{i-1},$$

由此可得

$$\begin{aligned} f_{c2}^{*(1)}(s) &= \eta \sum_{i=1}^m (i-1) \binom{m}{i} (m\eta)^{m-i} s^{i-2} (m\eta + s)^{-m} \\ &\quad - m\eta \sum_{i=1}^m \binom{m}{i} (m\eta)^{m-i} s^{i-1} (m\eta + s)^{-m-1} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} C_{r1} &= -\lambda_a (2C_{HG} + 2C_{GV} + C_G + C_V) f_{c2}^{*(1)}(0) \\ &= \frac{(m+1)\lambda_a (2C_{HG} + 2C_{GV} + C_G + C_V)}{2m\eta} \end{aligned} \quad (9)$$

设 $C_{HG} = 10C_{GV} = 10$ 个开销单位, $C_G = 2C_V = 2$ 个开销单位, 若用户关机时 GLR 发生故障, 逆向 GLR 故障恢复算法与规范恢复算法相比, 用户入呼处理节约的开销可用图 5 表示。从图可知, 当 λ_a/η 增大时, 节约的开销单位增大, 即用户在关机时有更多的入呼将节约更多的开销, 当 $1/\eta$ 减少时(用户关机时间缩短), 便可节约的开销减少。当 m 值增大时, 即用户关机时间的方差值减小, 入呼处理所节约的开销将减小, 这可理解为用户长时间和短时间关机情况减少, 这两种情况显然导致呼叫处理节约的开销减少。

在用户处于活动状态时 GLR 用户信息出现故障, 从式(4)知, 此时的用户信息恢复开销始终小于规范恢复开销, 本文重点讨论恢复间隔问题。若需要逆向 GLR 故障恢复算法

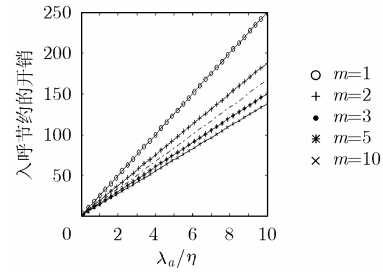


图 5 逆向 GLR 故障恢复法关机用户节约的入呼建立开销的故障恢复间隔小于规范恢复间隔, 则从式(5)和式(6)有 $(1/\mu) + 2t_{GV} - (E[\min(t_a, t_o, t_s)] + 5t_{GV} + 4t_{HG}) = (1/\mu) - E[\min(t_a, t_o, t_s)] - 3t_{GV} - 4t_{HG} < 0$, 即 $(1/\mu) < E[\min(t_a, t_o, t_s)] + 3t_{GV} + 4t_{HG}$ (10) 设用户在位置区逗留时间服从爱尔兰分布, 即 $f_s^*(s) = (m\phi)^m / (m\phi + s)^m$, 则由式(7)可得 $x1$ 的均值为

$$E_{x1} = -f_{x1}^{*(1)}(0) = \frac{1}{\lambda_o + \lambda_a} \left[1 - \left(\frac{m\phi}{m\phi + \lambda_o + \lambda_a} \right)^m \right]$$

图 6 表示了 E_{x1} 随各参数变化的情况, 从图可看出, 当用户入呼与出呼速率增大时, E_{x1} 值减少, 即用户有更多的呼叫活动时, GLR 能在更短时间内恢复用户信息; 当用户呼叫活动的速率一定, 但用户在位置区的逗留时间均值增大时, E_{x1} 值增大, 这是因为用户的移动性减少会导致用户在更长的时间间隔才向 VLR 发送位置更新请求; 当 m 增大时, 即用户在位置区逗留时间方差值减小, 此时 E_{x1} 值增大。如式(10), 在考虑逆向 GLR 故障恢复算法中 VLR 对活动用户向 GLR 发送用户信息的间隔时, 除 E_{x1} 因素外, 还要考虑 GLR 与 VLR 和 HLR 之间的传输延迟。显然, 由式(10)可确定 VLR 向 GLR 回复用户 profile 信息的时间。

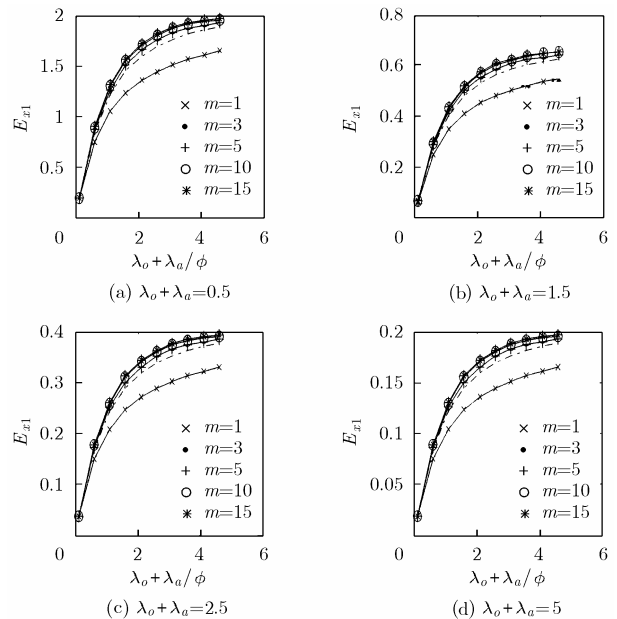


图 6 E_{x1} 均值图

5 结束语

移动网络中数据库在用户位置更新与位置查找中起着非常重要的作用,若数据库在运营中发生故障,则系统性能与用户服务质量都会受到严重影响,移动网中数据库的冗余设计是网络设计中非常重要的一环。本文对3G移动网络中GLR故障恢复问题提出了一种新的算法。与规范中的恢复算法不同,新算法利用VLR中的用户信息来恢复GLR中的不正确信息,该算法极大减少了系统对长途电路的占用,同时可对恢复间隔进行控制,从而可有效避免GLR在系统繁忙期间用户信息出现故障时可能导致的GLR性能严重下降问题。

参考文献

- [1] Gateway Location Register (GLR)-Stage2, 3GPP TS 23.119 V4.0.0 (2001-03).
- [2] Haas Zygmunt J and Lin Yi Bing. Demand re-registration for PCS database restoration. *Mobile Networks and Applications*, 2000, 5(3): 191-198.
- [3] Lin Yi Bing. Failure Restoration of mobility databases for personal communication networks. *Wireless Networks*, 1995, 1(3): 364-372.
- [4] Fang Yu Guang, Chlamtac Imrich, and Fei Hong Bing. Analytical results for optimal choice of location update interval for mobility database failure restoration in PCS networks. *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, 2000, 11(6): 615-624.
- [5] Haas Zygmunt J and Lin Yi Bing. On optimizing the location update costs in the presence of database failures. *Wireless Network Journal*, 1998, 4(5): 419-426.
- [6] Fang Yu Guang, Chlamtac Imrich, et al. Failure recovery of HLR mobility databases and parameter optimization for PCS networks. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2000, 60(4): 431-450.
- [7] Xiao Yang, Fang Yuguan, and Lin Yi Bing. Implicit deregistration in 3G cellular networks. ICC'03, Anchorage, Alaska, USA, May 2003, 26(1): 944-948.
- [8] Xiao Yang, Yi Pan, and Li Jie. Design and analysis of location management for 3G cellular networks. *IEEE Trans. on Parallel and Distributed System*, 2004, 15(4): 339-349.
- [9] Kleinrock L. Queueing systems, Vol.1. Theory. Wiley, New York, 1975.

江虹: 男, 1969年生, 副教授, 主要研究方向为移动管理、网络测量及无线自组织技术等。

张宏伟: 男, 1970年生, 高级工程师, 主要研究方向为移动管理、无线网络优化等。