



一种基于用户行为预测的群移动性管理模型

林晓勇^{1,2}, 俞洋¹, 糜正琨¹

(1. 南京邮电大学通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;

2. 南京邮电大学通达学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 移动性管理是未来 5G 移动的重要组成部分, 如何均衡寻呼负载和位置更新开销, 从而合理利用无线资源是当前的研究重点。提出了一种新的群移动性管理 (GMM) 方案, 可以针对具有相同运动特征的用户进行集中式管理, 从而可以减少单个用户移动性管理 (SMM) 时存在的重复开销。仿真结果表明, GMM 比 SMM 可以获得更佳的运行开销。

关键词: 群移动性管理; 用户行为预测; 质心定位模型; 寻呼开销

中图分类号: TN929.52

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017190

A model of group mobility management based on user behavior prediction

LIN Xiaoyong^{1,2}, YU Yang¹, MI Zhengkun¹

1. College of Communication and Information Engineering,

Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China

2. College of Tongda, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Yangzhou 225127, China

Abstract: Mobility management (MM) is a vital part of future 5G mobile communication. How to balance the paging loads and reduce the location update costs is a key topic in wireless communication research. A novel model of group mobility management based on user behavior prediction was proposed, in which users with the similar moving characteristics could be under unified management, thereby repeated costs from the traditional model of single mobility management (SMM) could be reduced. Simulation results show that GMM can get better running cost than SMM.

Key words: group mobility management, user behavior prediction, centroid aiming model, paging cost

1 引言

截至 2016 年 6 月, 中国手机网民用户数已达

到 6.56 亿户^[1], 如何更加有效地对移动用户进行资源分配和管理, 在节约资源开销的同时提升用户体验显得尤为重要。3G 和 4G 网络环境下位置

收稿日期: 2017-03-07; 修回日期: 2017-06-01

通讯作者: 糜正琨, mizk@njupt.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61471203); 2016 江苏省教育厅研究生教育创新工程 (No.SJZZ16_0143); 南京邮电大学通达学院教学改革重点项目 (No.JG31216003)

Foundation Items: The National Nature Science Foundation of China (No.61471203), 2016 JPED Postgraduate Education & Innovation Project (No.SJZZ16_0143), 2016 Education & Innovation Key Project of College of Tongda, NUPT (No.JG31216003)

管理多采用静态或动态的位置区划分^[2], 用户每次跨越位置区时都需要进行位置更新。在 LTE 环境下, 新增跟踪区的概念, 多个跟踪区形成一个跟踪区列表 (tracking area list, TAL), 用户在 TAL 上的跟踪区内可以自由移动, 不需要进行位置更新, 从而避免了频繁位置更新带来的资源损耗。跟踪区的合理规划能够均衡寻呼负荷和位置更新开销^[3]。

当前运营商的移动性管理方案都是针对个体移动用户的管理 (single mobility management, SMM)。目前, 国内外研究群移动管理的论文并不多, 主要着重于群用户运动模型的改良和优化、单个用户的移动管理以及车联网中分群算法的研究, 参考文献[4]中提出一种异构网络中基于业务优先级的车联网移动性管理技术, 参考文献[5]讨论了单个用户在 PLMN 组网中移动性管理的连续性, 参考文献[6]提出一种针对特定战场环境下的群移动模型, 侧重在移动自组织网络的架构设计。所有当前关于群 (组) 移动性研究重点是在自组织网络内部节点之间的相关路由协议, 其评价指标为节点之间的连通性度量 (端对端时延、报文传输率、吞吐量、链路通断率) 或者路由跳数、路由协议开销等, 均未从移动运营商角度考虑群组移动性管理问题。本文提出了一种新的基于用户行为预测的群移动性管理方案, 是在 LTE 的核心网 (evolved packet core, EPC) 架构上实施, 针对具有相同移动特征的用户进行统一的位置管理, 从而节约无线资源开销。

2 基于用户行为预测的群移动性管理

2.1 CAM 模型的建立

为了便于研究移动性管理, 需要通过仿真模拟网络中用户的运动, 移动模型的优劣会直接影响到用户行为预测的准确性, 因此需要建立一个符合真实环境的移动模型。

目前, 按照不同特点分类的实体移动模型有

随机移动模型、时间依赖性移动模型等^[7]。随机移动模型中, 节点的速度、方向等都是随机的, 往往不能充分描述现实场景中节点的移动性。最常见的一种时间依赖移动模型是高斯—马尔可夫移动模型^[8]。相比随机移动模型, 其移动更为平缓且克服了急转问题, 但是其运动终点不明确且不适用于群移动, 而现实中的移动往往是有目标的, 提出一种基于群组质心向目标位置运动预测的质心目标模型 (centroid aiming model, CAM), 结构如图 1 所示。

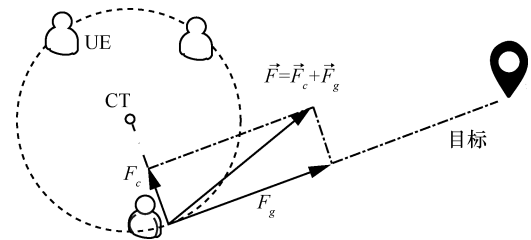


图 1 CAM 模型结构

CAM 群移动模型思想是将用户的移动视为一种受质心和目标点牵引的运动, 移动用户受到目标点和群组质心两者的共同约束。群组质心由群用户的几何中心所确定, 设群组中有 N 个用户, 用坐标表示为 $P_i(x_i, y_i)$, 则群组质心坐标为:

$$\sum_{i=1}^N P_i(x_i, y_i) / N \quad (1)$$

CAM 模型中目标点和群组质心的势场函数^[9]分别为:

$$U_g(X) = \frac{1}{2} k \rho^2(X, X_g) \quad (2)$$

$$U_c(X) = \frac{1}{2} \eta \rho^2(X, X_c) \quad (3)$$

其中, k 和 η 为增益系数, X 、 X_g 、 X_c 分别代表用户、目标点以及群组质心在运动空间中的位置, $\rho(X, X_g)$ 和 $\rho(X, X_c)$ 分别表示用户与目标点以及质心之间的距离。相应的势场函数的负梯度为:

$$F_g = -\nabla[U_g(X)] = k \rho(X, X_g) \quad (4)$$

$$F_c = -\nabla[U_c(X)] = \eta \rho(X, X_c) \quad (5)$$



为了更加符合实际情形,本文用户的实际运动方向满足均值为 θ_F 、方差为 $(\pi/b)^2$ 的正态分布,即: $\theta \sim N(\theta_F, (\pi/b)^2)$ 。其中 b 为可变系数,由移动特性决定。

由此定义了CAM速率模型:

$$v_{n+1} = \max\{\mu_{\min}, \min\{CUR, \mu_{\max}\}\} \cdot v_n \quad (6)$$

其中,质心用户比(centroid user rate, CUR)指质心和用户距离目标终点的距离比, $\mu_{\max}$ 和 $\mu_{\min}$ 分别表示速率变化率的上下阈值。

同时为了避免群组用户之间距离过近,不符合实际情形,设置了安全距离阈值(safe distance threshold, SDT)。若检测到群组中任意两用户距离小于或等于1 m,则其中一用户“放慢脚步”(速度降低为原先的1/3)等待,直到两用户距离大于或等于5 m时,再按原方向和速度前进。

2.2 基于GMS的群移动管理

本文提出群中的多个用户共享一个跟踪区,跟踪区更新也以群为单位。新增群管理服务(group management service, GMS)功能实体,负责存储更新群用户的成员信息,并执行GMM调度功能,如图2所示。

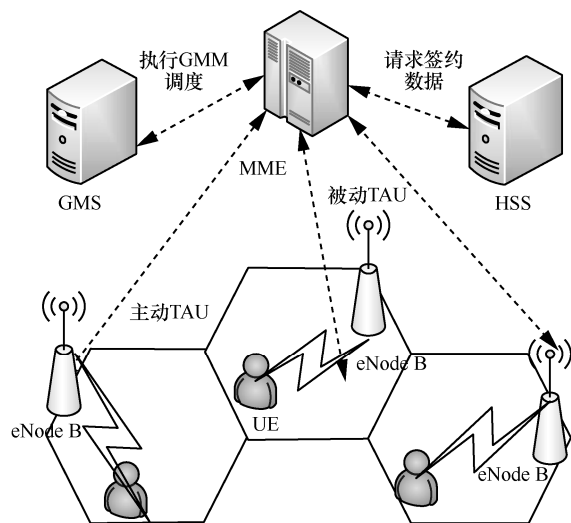


图2 基于GMS的群移动管理

传统跟踪区更新(tracking area update, TAU)主要由用户设备(user equipment, UE)、演进型

基站(evolved node B, eNode B)、移动管理实体(mobility management entity, MME)以及归属签约用户服务器(home subscriber server, HSS)等协作完成^[10]。其中eNode B负责向MME传递UE发出的TAU请求,而HSS负责存储UE的签约数据,包括位置信息等。群移动管理的主要消息流程如图3所示。

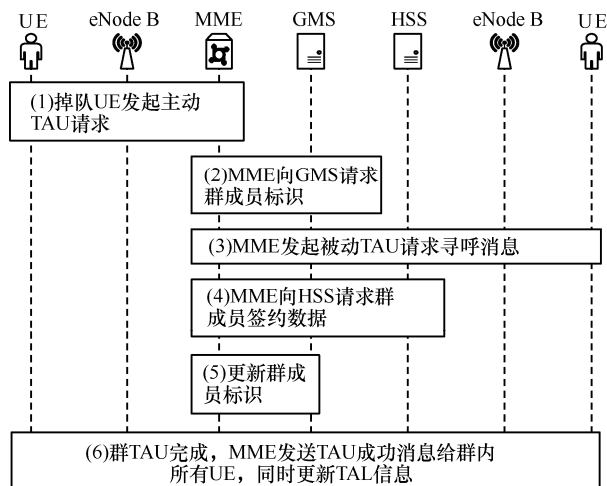


图3 基于GMS的群移动管理消息流程

(1) 群移动管理位置更新分为主动更新和被动更新,群组中一旦有某个成员脱离当前跟踪区,则发起带有群组标识的主动更新请求,更新承载上下文。

(2) MME将带有群标签的TAU请求发送给GMS, GMS通过查询数据库,匹配出该群当前所有群用户标识返回给MME。

(3) MME发出被动群TAU请求寻呼消息,以获取群成员的即时位置信息,同时检测是否有成员离线脱离群组。

(4) MME向HSS发送位置更新请求,如果MME没有用户完整的签约数据,则HSS将群组成员的IMSI、APN、QoS等签约数据通过更新位置应答消息发送给MME。

(5) 如果有群成员离线或脱离群组,则需要通知GMS更新群成员标识。

(6) MME发送TAU完成消息给群组各UE,

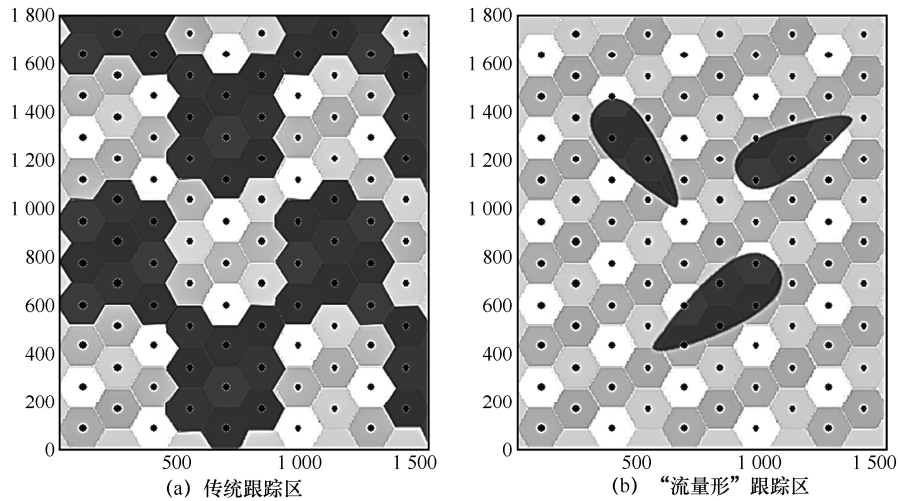


图4 传统跟踪区和“流星形”跟踪区比较

同时更新用户的 TAL。

2.3 流星形跟踪区

跟踪区的划分影响着寻呼和位置更新的开销,传统的跟踪区采取固定的区域划分,其工程实现非常简单,没有考虑移动用户的差异性,效率较低。而动态的跟踪区划分可以结合群用户的位置分布、移动特性等用户行为对跟踪区的形状和大小进行个性化划分,本文提出了一种动态的“流星形”跟踪区划分,其大小和形状由群用户的位置分布和移动特性所决定。传统和流星形跟踪区对比如图4所示。

流星形曲线标准方程(蛋圆曲线)^[11]为:

$$x^2/a^2 + y^2/(ky+b)^2 = 1, a, b > 0, |k| < 1 \quad (7)$$

基本性质:与 x 轴两个交点的连接线段称“横径”,其长度记为 r , $r=2a$; 与其对称轴的两个交点间的线段称“直径”,其长度记为 d 。

图5定义了流星曲线的相关参考点和线。点 $(0,0)$ 必在曲线内,称作“星核”(core nucleu, CN),关于直径中点对称的点称为“镜像星核”(mirror core nucleu, MCN)。

为了确定“流星形”跟踪区的形状,需要对用户行为进行预测。通过最新的 m 个群组质心坐标,预测未来 n 个质心位置,预测的方式是线性

拟合算法。设最新的 n 个群组质心分别为 $P_n(x_n, y_n)$, 且对应的时刻为 t_n , 则有:

$$\begin{cases} x_n = k_1 t_n + b_1 \\ y_n = k_2 t_n + b_2 \end{cases} \quad (8)$$

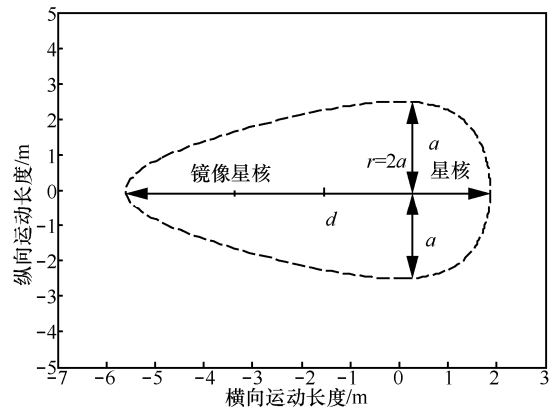


图5 流星形跟踪区定义

对式(8)中 k_1 、 k_2 、 b_1 、 b_2 进行拟合后,得到未来 n 个质心预测点:

$$p_n'(k_1(t_4 + \tau n) + b_1, k_2(t_4 + \tau n)) \quad (9)$$

具体过程如图6所示(假设取4点来预测3点)。

利用最后一个跟踪点和3个预测点,计算新的跟踪区。同样使用线性拟合得到新的“流星形”跟踪区的对称轴。在拟合获得的直线上,沿运动方向选取4个跟踪点中最外侧的两点在直线上的投

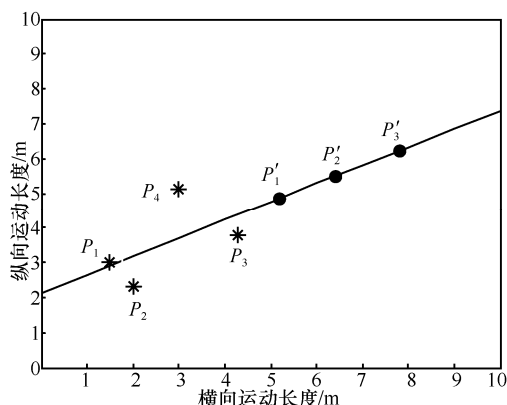


图6 线性拟合预测群运动趋势

影点依次作为彗星跟踪区的“镜像星核”和“星核”，并根据当前群用户位置分布调整横径与直径的大小，确保跟踪区包含所有的群用户。确定流星形区域后，该区域覆盖的所有小区组成新的跟踪区域对这些小区内的群组用户进行统一管理。

3 模型仿真

GMM 经过数学建模并在 MATLAB 环境实现了模拟仿真，UE 参数根据群移动速率分为 3 类：行人、非机动车和机动车，见表 1。

表 1 群组用户分类

样本组	分类比例 α
行人	0.3
非机动车	0.1
机动车	0.6

α 决定了用户移动方向的波动性， α 越大则波动性越小。初始速度 v_0 为了更加符合运动实际情况，针对行人、非机动车以及机动车 3 类，规定 v_0 分别满足均值为 1.4 m/s、5 m/s 和 10 m/s，标准差分别为 0.3 m/s、1 m/s 和 3 m/s 的正态分布。

由于 GMM 方案必须兼容当前以单 UE 移动性管理方案，GMS 是具体执行 GMM 的功能实体，因此仿真只能从运营商的角度，对比和分析相同移动路径下单移动管理和群移动管理场景下的平均开销，由于兼容管理方案的切换开销相同，因此本文开销计算式简化为：

$$C_{\text{total}} = C_{\text{page}} + C_{\text{update}} \quad (10)$$

单次多 UE 的群移动管理具有一定的不确定性，为保证仿真结果有效，每类群组仿真取 50 次统计平均，图 7 分别给出了 3 类群组在群移动管理与单移动管理时的开销对比。

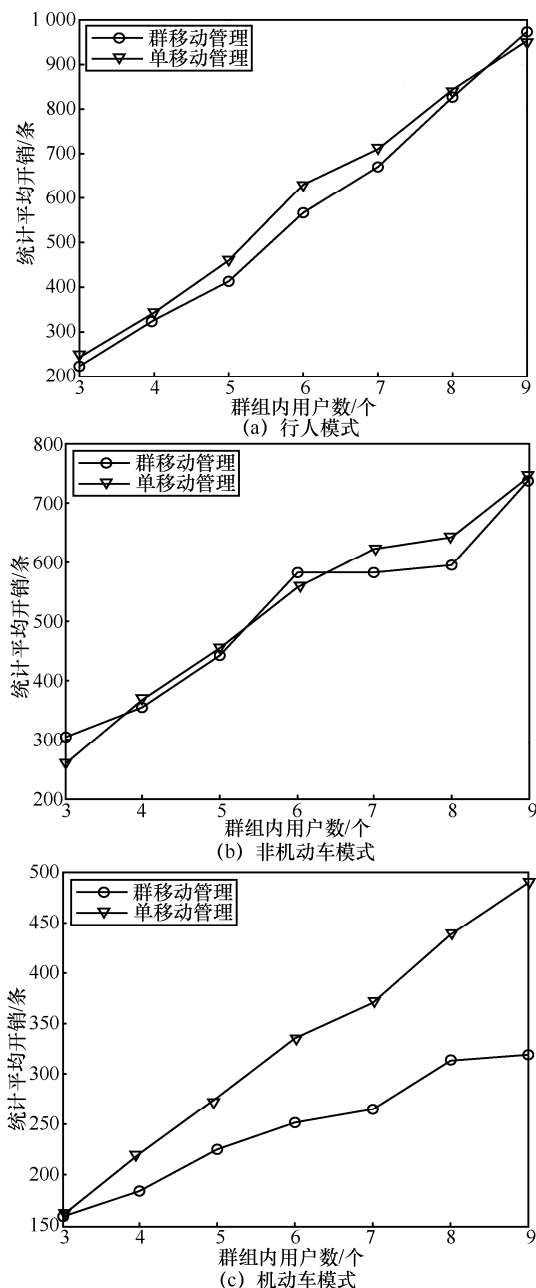


图7 3类群组在群移动管理与单移动管理时的开销对比

仿真结果表明，行人、非机动车和机动车在群管理模式，相较于现行的针对个体单移动用户的管理方案，平均寻呼开销分别降低了 8.6%、

1.28%和24.9%。其中机动车群组由于运动方向较为集中,群管理优势更明显。而非机动车(如电瓶车)群组由于运动方向较为分散,随机性较大,因此效果不显著。仿真结果表明,本文提出的以群组为单位的移动性管理方案兼容不同速率场景的移动场景,尤其针对群组成员集中且群移动速率较高场景,效率提升显著。

4 结束语

本文提出了一种基于用户行为预测的CAM的群移动性管理模型,在传统的SMM基础上新增了群管理服务,GMS负责群用户的管理和鉴权和群移动性管理。在GMM模式下,跟踪区更新分为主动更新和被动更新,被动更新针对当前群组所有用户发起统一寻呼,从而降低了单个UE管理时需要逐一寻呼所带来的开销。在群移动场景下的流星形动态跟踪区划分,更加契合用户的实际移动场景。将用户群分为行人、非机动车以及机动车3类分别进行了仿真实验,实验结果证明了该模型的可行性和有效性,GMM模型为以用户为中心的5G移动通信系统提供了新的运营管理思路。

参考文献:

- [1] CNNIC发布第38次《中国互联网络发展状况统计报告》[J]. 信息安全, 2016(8): 16.
CNINIC releases the 38th statistical report of ChinaNet development [J]. Netinfo Security, 2016(8): 16.
- [2] 胡凡, 朱立东, 肖阳. 动态位置区分组寻呼策略研究[J]. 空间电子技术, 2010(1): 13-17.
HU F, ZHU L D, XIAO Y. Selective paging strategy based on dynamic location area[J]. Space Electronic Technology, 2010(1): 13-17.
- [3] MUÑOZ P, BANDERA I D L, RUIZ F, et al. Computationally-efficient design of a dynamic system-level LTE simulator[J]. International Journal of Electronics and Telecommunications, 2011, 57(3): 347-358.
- [4] 杨琼, 胡静, 夏玮玮. 异构网络融合场景下车联网的移动性管理和资源管理[J]. 电信科学, 2015, 31(9): 67-72.
YANG X, HU J, XIA W W. Mobility management and resource management of internet of vehicles in converged heterogeneous network scenario[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9): 67-72.
- [5] 熊尚坤, 李文苒, 赵晔, 等. 多PLMN EUTRAN组网的移动性管理分析[J]. 电信科学, 2015, 31(11): 185-190.
XIONG S K, LI W Y, ZHAO Y, et al. Analysis on mobility management of multiple PLMNs EUTRAN networking[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(11): 185-190.
- [6] REGRAGUI Y, MOUSSA N. Agent-based system simulation of wireless battlefield networks[J]. Computers and Electrical Engineering, 2016, 56(11): 313-333.
- [7] CHANG W L, WU E H, SUN M T, et al. LDFS: localized depth first search for member loss detection of moving group in wireless networks[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 2578(378): 558-564.
- [8] MEGHANATHAN N. Impact of the Gauss-Markov mobility model on network connectivity, lifetime and hop count of routes for mobile ad hoc networks[J]. Journal of Networks, 2010, 5(5): 509-516.
- [9] 栗红生, 刘莹. 复杂路径下机器人路径规划优化方法仿真[J]. 计算机仿真, 2014(1): 407-411.
LI H S, LIU Y. Robot path planning under complicated path simulation optimization method[J]. Computer Simulation, 2014(1): 407-411.
- [10] IKEDA S, KAMI N, YOSHIKAWA T. Adaptive mobility management in cellular networks with multiple model-based prediction[C]//2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), July 1-5, 2013, Sardinia, Italy. New Jersey: IEEE Press, 2013: 473-478.
- [11] 任克林. 卵形曲线要素及其上任意点坐标的严密算法[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2013(3): 67-69.
REN K L. The analysis of oval curve elements and the strict algorithm to any point on oval curve[J]. Journal of Changchun Institute of Technology(Natural Science Edition), 2013(3): 67-69.
- [12] 马俊超, 王献. LTE位置管理中信令开销的分析[J]. 电子与信息学报, 2014(10): 2320-2325.
MA J C, WANG X. Signaling cost analysis of location management in long term evolution[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014(10): 2320-2325.

作者简介



林晓勇 (1974-), 男, 南京邮电大学通达学院博士生, 南京邮电大学通信与信息工程学院副教授, CCF会员, 主要研究方向为软件定义网、用户中心网、未来移动通信。

俞洋 (1994-), 男, 南京邮电大学通信与信息工程学院硕士生, 主要研究方向为未来移动通信管理。

糜正琨 (1946-), 男, 南京邮电大学通信与信息工程学院教授, 主要研究方向为下一代宽带通信网。