

基于动态层次位置管理的 HIP 移动性支持机制

杨水根 周华春 张宏科 秦雅娟
(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

摘要: 针对现有 HIP 机制不支持节点微移动的问题, 该文提出了基于动态层次位置管理的 HIP 移动性支持机制。在该机制中, 网络划分成多个自治域, 每个自治域划分成多个注册域。当节点在同一个注册域内移动时, 在管理该注册域的本地集合服务点中进行位置更新; 当节点在同一个自治域内移动时, 在管理该自治域的网关集合服务点中进行位置更新。节点根据自己的移动速率以及呼叫到达率选取本地集合服务点并计算注册域的最佳范围。仿真结果表明, 该机制能较好地降低节点移动时的信令开销, 支持节点微移动。

关键词: 主机标识符协议; 移动性支持; 位置管理

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)07-1615-04

Mobility Support in HIP Based on Dynamic Hierarchical Location Management

Yang Shui-gen Zhou Hua-chun Zhang Hong-ke Qin Ya-juan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The existing mobility support scheme in Host Identity Protocol (HIP) does not support micro-mobility. In this paper, a new mobility support scheme in HIP based on dynamic hierarchical location management is proposed. The Internet is separated into some autonomous areas while each autonomous area is separated into some registration areas. When the node moves in the same registration area, it updates its registration at Local RendezVous Server (LRVS). When the node moves in the same autonomous area, it updates its registration at Gateway RendezVous Server (GRVS). The node selects LRVS and determines the optimal size of registration area according to its mobility and packet arrival rate. Analytical results show that the new scheme outperforms the existed mobility support scheme in terms of reducing the overall signaling cost.

Key words: HIP (Host Identity Protocol); Mobility support; Location management

1 引言

在传统的互联网体系结构中, IP 地址既作为节点的身份标识又作为节点的位置标识^[1]。当节点改变 IP 地址时, 传输层连接中断, 需要重新建立连接, 因此, 传统的互联网体系结构难以支持节点的移动性。

主机标识符协议(Host Identity Protocol, HIP)^[2]在网络层和传输层之间增加一个新的 HIP 层, 把传统 IP 地址的双重功能分离。HIP 引入主机标识符(Host Identity Tag, HIT)作为传输协议的身份标识, IP 地址只作为节点的位置标识, 通信双方运行 HIP 基本交互协议^[3]建立 HIP 连接。当节点的 IP 地址改变时, 传输层连接不会中断。HIP 引入集合服务点(RendezVous Server, RVS)进行移动性管理^[4]。RVS 保存所有节点的 HIT 及其 IP 地址之间的映射关系。当节点改变 IP 地址时, 节点向 RVS 发送位置更新报文, 通告节点最新的

IP 地址。该机制能够较好地支持节点的宏移动, 但是在微移动环境下, 该机制会产生大的信令开销和切换时延等^[5]。

本文提出一种基于动态层次位置管理的 HIP 移动性支持机制(简称 DH-HIP), 引入网关集合服务点(Gateway RVS, GRVS)和本地集合服务点(Local RVS, LRVS)进行移动性管理。该机制能降低节点移动时的信令开销, 较好地支持节点的微移动。

2 基于动态层次位置管理的 HIP 移动性支持机制

2.1 网络体系结构

DH-HIP 的网络体系结构如图 1 所示。互联网划分成多个自治域, 每个自治域划分成多个注册域, 每个自治域和注册域分别由 GRVS, LRVS 管理域中节点的 HIT 及其 IP 地址之间的映射关系。

当节点接入网络时, 首先在所属注册域的 LRVS 中注册自己的 HIT 及 IP 地址。其次, 节点通过 LRVS 在所属自治域的 GRVS 中进行注册, 此时 LRVS 把注册报文中的源 IP 地址替换成 LRVS 的 IP 地址, 因此, 在 GRVS 中注册的是节点的 HIT 和 LRVS 的 IP 地址。最后, 节点通过 GRVS 在

2007-01-11 收到, 2007-07-12 改回

国家 973 发展规划(2007CB307101), 教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(706005)和国家自然科学基金(60473001, 60573001)资助课题

RVS 中进行注册, 此时 GRVS 把注册报文中的源 IP 地址替换成 GRVS 的 IP 地址, 因此, 在 RVS 中注册的是节点的 HIT 和 GRVS 的 IP 地址。在图 1 中, LRVS2 保存的是 MN 的 HIT 及其 IP 地址, GRVS2 保存的是 MN 的 HIT 和 LRVS2 的 IP 地址, RVS 保存的是 MN 的 HIT 和 GRVS2 的 IP 地址。

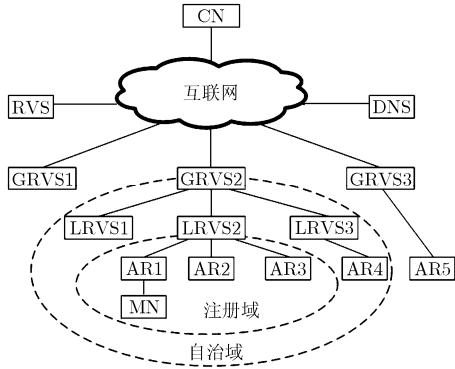


图 1 网络体系结构

当 MN 在同一个注册域内移动时, 在该注册域的 LRVS 中进行位置更新; 当节点在同一个自治域内(不同注册域间)移动时, 在该自治域的 GRVS 中进行位置更新; 当节点在不同的自治域间移动时, 在 RVS 中进行位置更新。

2.2 动态位置管理

网络中的接入路由器(Access Router, AR)周期性地发送通告消息, 该消息包含有该 AR 自己的 HIT 及其 IP 地址, 以及所在自治域 GRVS 的 HIT 及其 IP 地址。每个 MN 维护一个数据库, 该数据库保存了 MN 所经过的 AR 的 HIT 及其 IP 地址, AR 所在自治域的 GRVS 的 HIT 及其 IP 地址。在 DH-HIP 中, AR 既可以作为普通路由器(进行报文转发)又可以作为 LRVS(管理节点的 HIT 及其 IP 地址之间的映射关系)。MN 选择第 1 个和它相连接的 AR 作为所在注册域的 LRVS, 并且根据自己的移动速率及呼叫到达率计算该注册域的最佳范围 k_{opt} 。

当 MN 移动到新的子网时, 对新 AR 通告消息中 GRVS 的 IP 地址和自己数据库中 GRVS 的 IP 地址进行比较: 如果不同, 表明 MN 进入新的自治域, MN 删除旧 GRVS 的 HIT 及其 IP 地址, 把新 AR 作为新注册域的 LRVS, 保存新 LRVS 以及新 GRVS 的 HIT 及其 IP 地址, 在新 LRVS 和 GRVS 中进行注册, 并在 RVS 中进行位置更新; 如果相同, 表明 MN 在同一个自治域中移动, 此时, MN 进行如下步骤操作:

步骤 1 判断数据库中原有保存的 AR 与新 AR 个数之和是否大于 k_{opt} : 如果大于 k_{opt} , 表明 MN 进入新的注册域, MN 删除数据库中所有旧 AR 的 IP 地址, 保存新 AR 的 HIT 及其 IP 地址, 把新 AR 当作新注册域的 LRVS, 在新 LRVS 进行注册, 在所在自治域的 GRVS 中进行位置更新, 并重新

计算新注册域的 k_{opt} ; 如果小于 k_{opt} , 则进入步骤 2;

步骤 2 保存新 AR 的 IP 地址, 并在 LRVS 中进行位置更新。

3 信令开销及注册域最佳范围

本节建立 MN 移动时的信令开销解析模型, 给出 DH-HIP 机制下的注册域最佳范围计算方法。信令开销主要包括位置更新开销和报文递交开销。定义如下参数: c_{ma} 为 MN 与 AR 之间报文传输开销; c_{al} 为 AR 与 LRVS 之间报文传输开销; c_{gl} 为 GRVS 与 LRVS 之间报文传输开销; c_{gr} 为 GRVS 与 RVS 之间报文传输开销; c_{ar} 为 AR 与 RVS 之间报文传输开销。

3.1 位置更新开销

令 a_a 为 AR 转发报文开销, a_m , a_l , a_g , a_r 分别为 MN, LRVS, GRVS, RVS 处理注册报文及位置更新报文开销, λ 为呼叫到达率, μ 为 MN 的移动速率, 呼叫移动比(Call-to-Mobility Ratio, CMR) $\rho = \lambda / \mu$ 。

在 HIP 机制下, MN 移动时都需要在 RVS 中进行位置更新, 此时的位置更新开销 U_2 为

$$U_2 = \frac{a_r + 2a_a + 2c_{ma} + 2c_{ar}}{\rho} \quad (1)$$

在 DH-HIP 机制下, 当 MN 在同一个注册域内移动时, 位置更新开销 U_l 包括: LRVS 处理位置更新报文开销; AR 转发位置更新报文开销; MN 与 AR 之间以及 AR 与 LRVS 之间传输位置更新报文开销。

$$U_l = a_l + 2a_a + 2c_{ma} + 2c_{al} \quad (2)$$

在 DH-HIP 机制下, 当 MN 在同一个自治域内(不同的注册域间)移动时, MN 在新 LRVS 中的位置更新开销 U_g 包括 MN 在新 LRVS 中的注册开销 U_{g1} 以及 MN 在 GRVS 中的位置更新开销 U_{g2} 。

$$U_{g1} = a_m + 2a_l + 4c_{ma} \quad (3)$$

$$U_{g2} = a_g + 2a_l + 2c_{ma} + 2c_{gl} \quad (4)$$

$$U_g = U_{g1} + U_{g2} = a_m + a_g + 2c_{gl} + 4a_l + 6c_{ma} \quad (5)$$

在 DH-HIP 机制下, 当 MN 在不同的自治域间移动时, 位置更新开销 U_r 包括 MN 在新 LRVS, GRVS 中的注册开销 U_{g1} , U_{r1} 以及 MN 在 RVS 中的位置更新开销 U_{r2} 。

$$U_{r1} = a_m + 2a_g + 4a_l + 4c_{ma} + 4c_{gl} \quad (6)$$

$$U_{r2} = a_r + 2a_g + 2a_l + 2c_{ma} + 2c_{gl} + 2c_{gr} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} U_r &= U_{g1} + U_{r1} + U_{r2} \\ &= a_r + 2a_m + 2c_{gr} + 4a_g + 6c_{gl} + 8a_l + 10c_{ma} \end{aligned} \quad (8)$$

令上一次呼叫到达和位置更新之间 MN 经过的子网个数为 a , 其概率分布为 $\beta(a)$; 两次连续呼叫之间 MN 所经历子网个数为 i , 其概率分布为 $\alpha(i)$; 每个 GRVS 所管理的子网个数为 m ; 每个 LRVS 所管理的子网个数为 k 。则在 DH-HIP 机制下, MN 移动时的位置更新开销 U_1

表 1 性能仿真时的参数值

c_{ma}	c_{al}	c_{gl}	c_{gr}	c_{ar}	a_m	a_a	a_l	a_g	a_r	v_g	v_r	ξ	α	β	ω
1	2	5	10	15	5	10	15	25	50	12.5	25	0.01	0.3	0.7	15

$$U_1 = \sum_{i=0}^{\infty} \left\{ \left\lfloor \frac{i+a}{k} \right\rfloor U_g + \left\lfloor \frac{i+a}{m} \right\rfloor U_r + \left(i - \left\lfloor \frac{i+a}{k} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{i+a}{m} \right\rfloor \right) U_l \right\} \alpha(i) \quad (9)$$

其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示对结果下取整。式(9)中, 第 1 项为 MN 在相同自治域内移动时的位置更新开销, 第 2 项为 MN 在不同自治域间移动时的位置更新开销, 第 3 项为 MN 在相同注册域内移动时的位置更新开销。

设 MN 的呼叫到达为泊松过程, MN 在一个子网中滞留时间的概率密度函数为 $f(t)$, $f(t)$ 的拉普拉斯变换为 $f^*(s) = \int_{t=0}^{\infty} f(t)e^{-st} dt$; 定义 $g = f^*(\lambda)$, 则 $\alpha(i)$ 为^[6]

$$\alpha(i) = \begin{cases} 1 - \frac{1-g}{\rho}, & i = 0 \\ \frac{(1-g)^2 g^{i-1}}{\rho}, & i > 0 \end{cases} \quad (10)$$

令 $i = jmk + q$, $0 \leq q < k$, $0 \leq a < k$, 则

$$\begin{aligned} U_1 &= \sum_{i=0}^{\infty} i \alpha(i) U_i + \sum_{i=0}^{\infty} \left\{ \left\lfloor \frac{i+a}{k} \right\rfloor (U_g - U_l) + \left\lfloor \frac{i+a}{m} \right\rfloor (U_r - U_l) \right\} \alpha(i) \\ &= \frac{U_l}{\rho} + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{k-a-1} \left\{ jm(U_g - U_l) + jk(U_r - U_l) \right\} \frac{(1-g)^2}{\rho g} g^{jmk+q} \\ &\quad + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{q=k-a}^{k-1} \left\{ (jm+1)(U_g - U_l) + (jk+1)(U_r - U_l) \right\} \\ &\quad \cdot \frac{(1-g)^2}{\rho g} g^{jmk+q} = \frac{U_l}{\rho} + \frac{(1-g)(g^{k-a} - g^k)}{\rho g(1-g^{mk})} (U_g + U_r - 2U_l) \\ &\quad + \frac{g^{mk}(1-g)(1-g^k)}{\rho g(1-g^{mk})^2} \{m(U_g - U_l) + k(U_r - U_l)\} \quad (11) \end{aligned}$$

3.2 报文递交开销

令 v_l , v_g , v_r 分别为 LRVS, GRVS, RVS 递交呼叫报文的开销。令 ξ 为 LRVS 进行带宽分配的开销, α 为查找 MN 的权重, β 为查找路由表的权重, ω 为每个子网中 MN 的个数。

在 HIP 机制下, 报文递交开销 S_2 包括 RVS 递交呼叫报文开销和 AR, RVS 之间传输呼叫报文开销。

$$S_2 = v_r + c_{ar} \quad (12)$$

在 DH-HIP 机制下, 报文递交开销 S_1 包括 RVS, GRVS, LRVS 递交呼叫报文开销, AR 与 LRVS 之间、LRVS 与 GRVS 之间以及 GRVS 与 RVS 之间传输呼叫报文开销。其中, LRVS 递交呼叫报文开销 v_l 为^[7]

$$v_l = \xi k(\alpha\omega + \beta \log(k)) \quad (13)$$

因此,

$$S_1 = v_r + v_g + c_{gr} + c_{gl} + c_{al} + \xi k(\alpha\omega + \beta \log(k)) \quad (14)$$

3.3 信令开销

信令开销包括位置更新开销和报文递交开销。DH-HIP 信令开销 C_1 以及 HIP 信令开销 C_2 分别为

$$C_1 = U_1 + S_1 \quad (15)$$

$$C_2 = U_2 + S_2 \quad (16)$$

3.4 注册域最佳范围

DH-HIP 机制下, 每个 MN 独立选取的注册域最佳范围 k_{opt} 应当使得信令开销最小。由于每个 LRVS 所管理的子网个数 k 只能为整数, 因此采用数值分析方法, 求解 k_{opt} 。

定义差分函数 $\Delta C_1(k, \rho)$ 为

$$\Delta C_1(k, \rho) = C_1(k, \rho) - C_1(k-1, \rho) \quad (17)$$

其中 $k \geq 2$ 。计算 k_{opt} 的方法为

$$k_{opt} = \begin{cases} 1, & \Delta C_1(2, \rho) > 0 \\ \max\{k : \Delta C_1(k, \rho) \leq 0\}, & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

4 性能仿真及分析

本节给出解析模型在不同情况下的数值结果, 验证微移动环境下, DH-HIP 降低信令开销的有效性。

根据 HIP 协议的报文格式、网络实际部署情况等, 进行性能仿真时选取的参数值如表 1 所示。

设 MN 在一个子网中的滞留时间服从均值为 $1/\mu$ 的指数分布, $g = 1/(1+\rho)$ 。

设 a 为均匀分布, $\beta(a) = 1/k$, 则

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{k} \sum_{a=0}^{k-1} U_1 + S_1 = S_1 + \frac{U_l}{\rho} + \frac{(1-g^k)}{\rho g k(1-g^{mk})} (U_g + U_r - 2U_l) \\ &\quad + \frac{g^{mk}(1-g)(1-g^k)}{\rho g(1-g^{mk})^2} \{m(U_g - U_l) + k(U_r - U_l)\} \quad (19) \end{aligned}$$

此时, DH-HIP 的注册域最佳范围如图 2 所示, 信令开销如图 3 所示。

在图 2 中, 随着 CMR 的增加, DH-HIP 的注册域最佳范围 k_{opt} 减小。当 CMR 较小时, MN 频繁切换, 此时大的

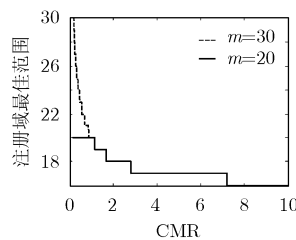


图 2 注册域最佳范围 (a 为均匀分布)

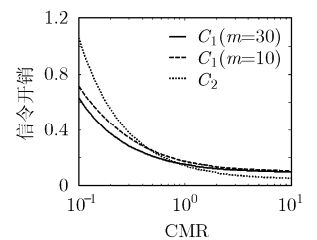


图 3 信令开销 (a 为均匀分布)

注册域范围可以降低 MN 的位置更新开销,因此 MN 计算得到的 k_{opt} 较大。当 CMR 较大时, MN 的呼叫到达率较大(相对于 μ), RVS, GRVS, LRVs 频繁处理报文递交,此时小的注册域范围可以降低报文递交开销,因此 MN 计算得到的 k_{opt} 较小。

当 MN 的移动速率大于呼叫到达率时, DH-HIP 中的 MN 选取较大的 k_{opt} , 从而降低信令开销。在图 3 中, 相对于 HIP, 当 CMR=0.1 时, DH-HIP 可以降低 41.51% ($m=30$) 和 32.08% ($m=10$) 的信令开销。另外, 在 DH-HIP 中, 大的 GRVS 管理范围可以降低 MN 移动时的位置更新开销。在图 3 中, 当 CMR=0.1 时, 相对于 $m=10$, $m=30$ 可以降低 13.89% 的信令开销。当 CMR 较大时, DH-HIP 的信令开销与 GRVS 所管理的子网个数关系不大。

$$\begin{aligned}
 & \text{当 } a \text{ 为线性分布, } \beta(a) = \frac{2(k-a)}{k(k+1)} \text{ 时,} \\
 C_1 = S_1 + \sum_{a=0}^{k-1} \beta(a)U_1 = S_1 + \frac{U_l}{\rho} + \frac{g^{mk}(1-g)(1-g^k)}{\rho g(1-g^{mk})^2} \\
 & \cdot \left\{ m(U_g - U_l) + k(U_r - U_l) \right\} + \frac{U_g + U_r - 2U_l}{\rho(k+1)(1-g^{mk})} \\
 & \cdot \left[(1-k)(1-g)g^{k-1} + \frac{2g^{k-1}}{k} + \frac{2(1-g^{k-1})}{k(1-g)} \right] \quad (20)
 \end{aligned}$$

此时, 信令开销如图 4 所示。

$$\begin{aligned}
 & \text{当 } a \text{ 为指数分布, } \beta(a) = \frac{(1-e^{-1})e^{-a}}{1-e^{-k}} \text{ 时,} \\
 C_1 = S_1 + \sum_{a=0}^{k-1} \beta(a)U_1 = S_1 + \frac{U_l}{\rho} + \frac{g^{mk}(1-g)(1-g^k)}{\rho g(1-g^{mk})^2} \\
 & \cdot \left\{ m(U_g - U_l) + k(U_r - U_l) \right\} + \frac{(1-g)(1-e^{-1})g^k}{\rho g(1-e^{-k})(1-g^{mk})} \\
 & \cdot \left[\frac{1-(ge)^{1-k}}{ge-1} + \frac{1-e^{1-k}}{1-e} \right] (U_g + U_r - 2U_l) \quad (21)
 \end{aligned}$$

此时, 信令开销如图 5 所示。

在图 4 中, a 为线性分布。相对于 HIP, 当 CMR=0.1 时, DH-HIP 降低 49.06% ($m=30$) 和 26.42% ($m=10$) 的信令开销; 当 CMR=1 时, DH-HIP 降低 28.17% ($m=30$) 和 21.13% ($m=10$) 的信令开销。在图 5 中, a 为指数分布。相对于 HIP, 当 CMR=0.1 时, DH-HIP 降低 56.60% ($m=30$, $m=10$) 的信令开销; 当 CMR=1 时, DH-HIP

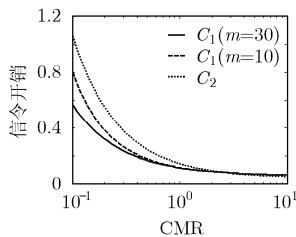


图 4 信令开销(a 为线性分布)

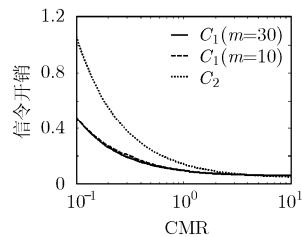


图 5 信令开销(a 为指数分布)

降低 35.21% ($m=30$, $m=10$) 的信令开销。另外, 当 a 为指数分布时, DH-HIP 机制中 MN 所选取的注册域最佳范围 k_{opt} 一样, MN 移动时产生的信令开销与 GRVS 管理的子网个数关系不大。

DH-HIP 机制中, 当 MN 的移动速率小于呼叫到达率时, GRVS 与 LRVs 等频繁传送和处理呼叫报文, 从而产生额外信令开销, 并且增加的信令开销与 a 的分布有关。从图 3, 图 4, 图 5 可以看出, 相对于 HIP, 当 CMR=10, $m=10$ 时, DH-HIP 分别增加了 28.98% (a 为均匀分布), 9.10% (a 为线性分布), 7.41% (a 为指数分布) 的信令开销; 当 CMR=10, $m=30$ 时, DH-HIP 分别增加了 25.65% (a 为均匀分布), 9.10% (a 为线性分布), 7.41% (a 为指数分布) 的信令开销。

5 结束语

针对现有 HIP 机制不支持节点微移动的问题, 本文提出了 DH-HIP 移动性支持机制, 建立 HIP 和 DH-HIP 两种机制下 MN 移动时的信令开销解析模型, 并且分析 CMR 在多种情况下对 HIP 和 DH-HIP 信令开销以及注册域最佳范围的影响。仿真结果表明, 当节点的移动速率大于呼叫到达率时, DH-HIP 移动性支持机制可以显著降低 MN 移动时的信令开销, 较好的支持节点的微移动。

参考文献

- [1] Hari B, Karthik L, and Sylvia R, *et al.* A layered naming architecture for the internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2004, 34(4): 343-352.
- [2] Robert M and Pekka N. RFC 4423-Host identity protocol (HIP) architecture. IETF, 2006.
- [3] Robert M, Pekka N, Petri J, *et al.* Draft-ietf-hip-base-06-Host identity protocol. IETF, 2006.
- [4] Julien L and Lars E. Draft-ietf-hip-rvs-05-Host identity protocol (HIP) rendezvous extension. IETF, 2006.
- [5] Thomas R H. Host mobility for ip networks: A comparison. *IEEE Networks*, 2003, 17(6): 18-26.
- [6] Fan Y G, Imrich C, and Lin Y B. Portable movement modeling for PCS networks. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2000, 49(4): 1356-1363.
- [7] Jiang X and Ian F A. An optimal location management scheme for minimizing signaling cost in mobile ip. Proceedings of IEEE International Conference on Communications, New York, USA, 28-30 April, 2002: 3313-3317.

杨水根: 男, 1981 年生, 博士生, 从事移动互联网、下一代网络等研究。

周华春: 男, 1965 年生, 副教授, 主要从事移动互联网、下一代网络、电信网络管理等研究。

张宏科: 男, 1957 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事移动互联网、传感器网络、下一代网络等研究。

秦雅娟: 女, 1963 年生, 副教授, 主要从事移动互联网、下一代网络等研究。