

混合无线网络中的代理搜索问题分析^{*})

崔维嘉 陈曦 刘勤让 胡捍英

(信息工程大学通信工程系 郑州 450002)

摘要 自组织网和蜂窝网的融合代表未来无线网络的发展趋势,无线混合网络的代理搜索问题研究对网络规划和设计具有重要的指导意义。本文提出了一种用于分析代理搜索问题的模型,并通过引入代理搜索成功概率目标函数,首次推导出了一跳搜索环境下的成功概率解析表达式。仿真结果表明该解析表达式能够准确描述无线混合网络中的代理搜索问题。

关键词 混合无线网络,代理搜索,自组织方式

Analysis of the Agent-Get Problem in Hybrid Wireless Network

CUI Wei-Jia CHEN Xi LIU Qin-Rang HU Han-Ying

(Dept. of Communication Engineering Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

Abstract Hybrid Wireless Network (HWN) composed with cellular wireless network and Ad hoc network represents the trend of the next generation wireless network. The research of Agent-Get Problem in Hybrid Wireless Network has the important instruction significance to the network planning and design. This paper proposes a model to analyze the Agent-Get Problem, introduces an objective function named as Agent-Get probability, and deduces the analytical expression of Agent-Get probability under one-hop condition for the first time. The simulation result indicated this analysis expression can accurately describe Agent-Get Problem in HWN.

Keywords Hybrid wireless network, Agent got, Ad hoc mode

1 引言

在传统蜂窝网络中,由于系统存在一定的覆盖缺陷,小区外和死区内的节点无法得到系统的服务,而且小区内的节点常常只能获得低速率的数据服务。因此,提高蜂窝网络的服务能力,为小区外节点和低速率节点提供更好的服务成为移动通信领域的重要研究课题。在现有的研究项目中,许多研究机构都将自组织网和蜂窝网组成的混合无线网络作为解决这一问题的主要手段,其中包括: A-GSM^[1]、iCAR^[2]、OD-MA^[3]、SOPRANO^[4]、Sphinx^[5]、UCAN^[6]等。

在蜂窝移动通信系统中引入自组织方式能够带来很多好处,除了增加容量、节省功率消耗和流量转移外,另一个重要的优点就是提高无线网络的服务能力。在蜂窝网络中引入自组织方式后,网络的拓扑结构、用户节点类型和用户可采用的通信模式都发生了转变。其中,用户可以选择的通信模式从单一的蜂窝式通信演变成蜂窝模式、区域性的自组织模式和混合模式三种通信方式,扩展了用户获取服务的方式。在这三种方式中,混合模式成为一种独特的通信方式。在混合模式中,用户通过其它节点的中继转发来接入基站获得蜂窝系统的服务,完成一次通信需要使用两种通信链路:蜂窝链路和自组织链路。通过混合模式,一方面可以使处于小区覆盖外的节点通过其它用户中继转发来接入基站获得蜂窝系统的服务,形成小区覆盖的拓展;另一方面使处于低速率覆盖区域内的用户可以通过中继节点的转发获得高速率业务,形成高速率业务覆盖的拓展。而这两种覆盖拓展的前提是用户必须搜

索一个处于蜂窝覆盖内的节点来代替用户接入基站,我们将这个代替其他用户接入基站的节点称为代理。

代理节点的设置和选取算法是在引入自组织网络后出现的新的研究课题。H. Luo 和 R. Ramjee 在文[6]中提出了两种代理的搜索算法,并指出算法对系统的服务性能有较大的影响。但是这些研究只给出了定性的结论,他们都没有解析的结果,而这个问题的解析结果对于网络规划和设计是很有价值的。因此,本文提出了一种用于分析代理搜索问题的模型,通过引入代理搜索成功概率作为目标函数,首次推导出了一跳搜索环境下的代理搜索成功概率解析表达式。文末通过仿真仿真实验验证了该解析表达式能够准确表达无线混合网络中的代理搜索问题。

本文的内容组织如下:第2节描述了系统模型并定义了一个用于衡量代理搜索算法性能的指标;第3节推导出基于该模型框架下代理搜索成功概率的解析结果;第4节基于该模型进行仿真分析,并将仿真结果与解析结果进行比较;最后,对全文进行了总结。

2 系统模型及指标定义

图1所示为单小区环境下研究代理搜索问题的系统模型。在该模型中,用户节点独立均匀的分布在以 R^* 为半径的圆形区域中;小区覆盖范围为半径为 R 的圆形区域,基站节点处于小区的中心点;在自组织方式下节点的通信半径为 r 。如前所述,在整个区域中,处于小区覆盖外的节点无法直接接入基站,因而在传统的蜂窝网络中得不到系统的服务。

^{*})项目基金:国家自然科学基金项目(编号:60472064);国家863高技术研究发展计划项目(编号:2003AA123340)。崔维嘉 讲师,博士生,主要从事蜂窝网络和自组织网络融合的相关问题研究;胡捍英 教授,博士生导师,主要研究方向:第三代移动通信系统。

但在混合网络中,由于引入了自组织方式,处于小区覆盖外的节点只要通过多跳能连接到一个处于小区覆盖范围内的代理节点,就仍然有可能得到蜂窝网络的服务。

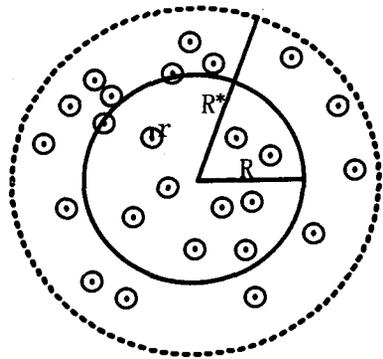


图1 单小区系统模型

为了分析这种代理的搜索问题,我们提出了一个新的指标:代理搜索成功概率。代理搜索成功概率是指处于小区覆盖外的节点能够成功搜索到代理并获得蜂窝系统服务的概率。显然,在混合网络中,代理搜索成功概率与节点密度、小区覆盖半径、节点的通信半径以及允许的最大搜索跳数有关。在静态情况下,代理搜索成功概率等于在小区覆盖外已经有 \$K\$ 个节点的情况下,能够找到代理的节点个数与 \$K\$ 的比值。

3 解析分析

3.1 定义

\$R_1\$: 节点分布的圆形区域的半径。

\$N\$: 独立均匀分布在正方形区域的节点数量。

\$R\$: 小区的覆盖半径。

\$r\$: 节点的传输半径。

\$d\$: 能成功找到代理的节点与基站的距离。

\$S\$: 分布在小区外的节点,其覆盖范围与小区的重叠区域的面积。

\$P_0\$: 节点分布在小区内的概率。

\$P_1\$: 节点分布在小区外的概率。

\$P_2\$: 在一个节点分布在小区外的条件下,其 \$S\$ 内有一个节点的概率。

\$P_3\$: 在一个节点分布在小区外的条件下,其 \$S\$ 内有至少一个节点的概率。

\$P_{-1}\$: 在一个节点分布在小区外的条件下,能在一跳范围内成功找到代理获得基站服务的概率。

\$P\$: 一个节点能够得到基站服务的概率。

3.2 一跳中继代理搜索成功概率分析

从以上定义可以推导出以下结论:

$$P_0 = R^2 / R_1^2 \quad (1)$$

$$P_1 = (R_1^2 - R^2) / R_1^2 \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{S}{\pi R_1^2} \left(1 - \frac{S}{\pi R_1^2}\right)^{N-2} \quad (3)$$

$$P_3 = \left(1 - \left(1 - \frac{S}{\pi R_1^2}\right)^{N-1}\right) \quad (4)$$

$$P_{-1} = P_3 / P_1 \quad (5)$$

$$P = P_0 + P_{-1} \quad (6)$$

通过分析我们可以看出 \$P_{-1}\$ 与 \$S\$ 有关,而 \$S\$ 与 \$d\$ 有关,所以 \$S\$ 必然是 \$d\$ 的函数。当节点处于小区覆盖区域外,由于其位置是随机分布的,所以节点与基站间的距离也是一个随

机变量。如果将整个正方形区域等效为一个圆形区域,则 \$d\$ 的分布概率密度函数为:

$$f_d(d) = \frac{2d}{R_1^2}, R < d < R+r < R_1 \quad (7)$$

由于 \$d\$ 是一个随机变量,而 \$P_{-1}\$ 是 \$d\$ 的函数,因此 \$P_{-1}\$ 也是一个随机变量。我们将代理搜索成功概率定义为 \$P_{-1}\$ 的均值,如式(8)所示:

$$E[P_{-1}] = E[P_3] / P_1 \quad (8)$$

由式(8)可以得到搜索范围为一跳的情况下代理搜索成功概率的表达式,如式(9)所示:

$$E[P_{-1}] = \begin{cases} \int_R^{R+r} [1 - (1 - \frac{S}{\pi R_1^2})^{N-1}] \cdot \frac{2x}{R_1^2} dx_{x=d} / (\frac{\pi R_1^2 - \pi R^2}{\pi R_1^2}) & R+r < R_1 \\ \int_R^{R_1} [1 - (1 - \frac{S}{\pi R_1^2})^{N-1}] \cdot \frac{2x}{R_1^2} dx_{x=d} / (\frac{\pi R_1^2 - \pi R^2}{\pi R_1^2}) & R+r \geq R_1 \end{cases} \quad (9)$$

公式中 \$S\$ 的表达式由式(10)给出。

$$S(d) = \begin{cases} 0, & d = R+r \\ \arccos \frac{R^2 - r^2 + d^2}{2dR} \cdot R^2 - \frac{R^2 - r^2 + d^2}{2d} \sqrt{R^2 - \frac{(R^2 - r^2 + d^2)^2}{4d^2}} \\ + \arccos \frac{d^2 + r^2 - R^2}{2dr} \cdot r^2 - \frac{d^2 + r^2 - R^2}{2d} \\ \cdot \sqrt{r^2 - \frac{(d^2 + r^2 - R^2)^2}{4d^2}}, & R < d < R+r < R_1 \\ R^2 \cdot \arccos \frac{2R^2 - r^2}{2R^2} - \frac{2R^2 - r^2}{2R} \sqrt{R^2 - \frac{(2R^2 - r^2)^2}{4R^2}} \\ + r^2 \cdot \arccos \frac{r}{2R} - \frac{r^2}{2R} \sqrt{r^2 - \frac{r^4}{4R^2}}, & d = R \end{cases} \quad (10)$$

4 仿真结果及分析

为了验证文中推导的代理搜索概率解析表达式,借助 NS2 仿真平台构建了单小区单跳的代理搜索环境,仿真了节点通信半径、节点密度和小区半径等参数对代理搜索成功概率的影响,仿真结果表明文中提出解析表达式能准确描述无线混合网络中的代理搜索问题。

在 \$R_1 = 750, R = 650, N = 200, r \in [0, 200]; R_1 = 750, R = 650, N \in [0, 200], r = 100; R_1 = 750, R \in [100, 700], N = 200, r = 200\$ 条件下分别验证了解析表达式能够准确描述节点通信半径、节点密度和小区半径对代理搜索成功概率的影响。

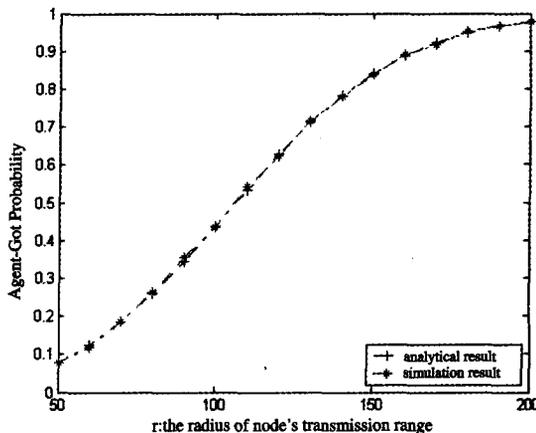


图2 节点通信半径的影响

就均值法而言,当 i 为 20、50、100 时,循环相关后的峰值如图 5 所示。同理,考虑码间发生偏移,近于临界状态下, i 为 20、50 时最高峰值显著,可以实现正确判别捕获;随着均值 i 增多至 100,一次搜索样本点为 $i \times 2L = 100 \times 2048 = 204800$

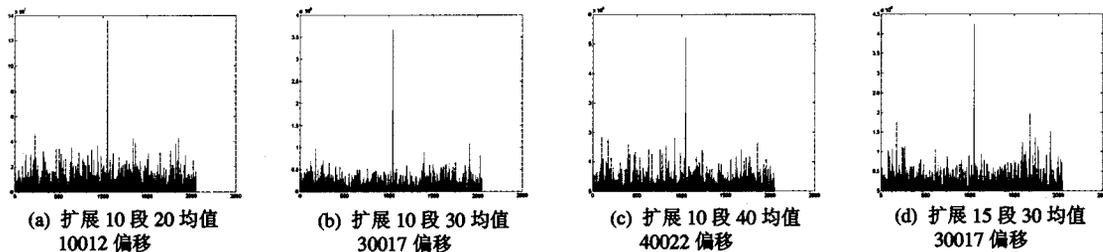


图 6 本文算法循环相关

10, $i=40$ 和 $M=15, i=30$ 时,相关峰值如图 6 所示。在码间偏移临界状态下,峰值显著,可正常定位。在一次搜索样本点达到 $M \times 2L \times i = 15 \times 2048 \times 30 = 921600$ 时,相比扩展复制重叠和均值法,在时间覆盖范围上分别提高 11~12 倍、4~5 倍以上,从而提高了 P 码的捕获效率。

结论 为实现 P 码的快速直接捕获,本文从研究信号直接捕获算法角度出发,提出了一种新的 P 码快速直接捕获算法,从而提高了捕获效率,对发展我国自己的卫星定位系统提供了技术基础。

参考文献

- 1 Kaplan E D. Understanding GPS, Principles and Applications [M]. Artech House, Boston, MA, 1996
- 2 ICD-GPS-200. NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User

时,尽管存在峰值,但在临界点模糊,即:图 4(e)中,最高峰值为 25.309,次峰值为 24.293;图 4(f)中,最高峰值为 27.760,次峰值 24.368,从而导致进行相关检测困难。

就本文新算法而言,当 $M=10, i=50, M=10, i=30, M=$

- Interfaces (Public Release Version)[R]. ARINC Research Corporation, Fountain Valley CA, 1991
- 3 任亚安,王鹏,许卫东,等. GPS 中 P(Y)码直接捕获技术的研究进展[J]. 全球定位系统, 2003(1):2~7
- 4 Yang C. Fast Code Acquisition with FFT and its Sampling Schemes[A]. In: Proceedings of the 1996 National Technical Meeting[C], USA, 1996. 1729~1734
- 5 Yang C, Vasquez J, Chaffee J. Fast Direct P(Y)-Code Acquisition Using XFAST[A]. In: Proceedings of ION GPS-99[C], Nashville, 1999. 317~324
- 6 Yang C, Chaffee J, Abel J, Vasquez M. Extended Replica Folding for Direct Acquisition of GPS P-Code and Its Performance Analysis[A]. In: Proceedings of ION GPS 2000[C], Salt Lake City, 2000. 2070~2078
- 7 Pang J. Direct Global Positioning System P-Code Acquisition Field Programmable Gate Array Prototyping[D]. 2003. <http://www.lib.umi.com/dissertations/fullcit/>

(上接第 58 页)

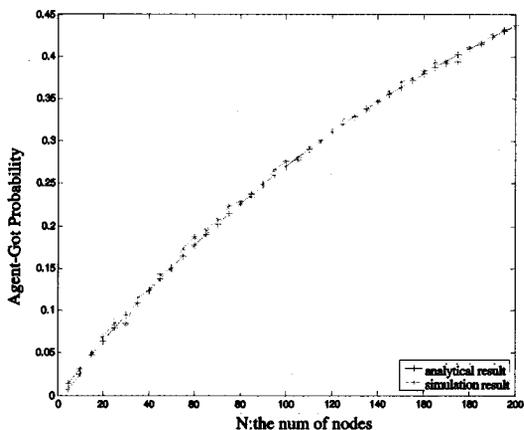


图 3 节点密度的影响

总结 本文给出了一种单小区一跳环境下分析代理搜索问题的模型,首次对混合网络中的代理搜索问题进行了解析分析,引入代理搜索成功概率作为分析代理搜索问题的目标函数。并通过节点通信半径、节点密度和小区半径等不同参数对代理搜索成功概率影响的仿真实验验证了文中提出解析表达式的准确性。

参考文献

- 1 Wu Hongyi, Qiao C, De S, Tonguz O. Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems; iCAR. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001,19(10): 2105~2115

- 2 3GPP. Opportunity Driven Multiple Access (ODMA); [Tech. Rep. 3G TR25.924 v1.0]. 1999
- 3 Aggélou G N, Tafazolli R. On the Relaying Capability of Next-Generation GSM Cellular Networks. IEEE Personal Communications, Feb. 2001. 40~47
- 4 Hsieh H-Y, Sivakumar R. Sphinx; A Hybrid Network Model for Wireless Packet Data Networks; [GNAN Research Group Technical Report 01-01]. January 2001
- 5 Zadeh A N, Jabbari B, Pickholtz R, Vojcic B. Self-organizing packet radio ad hoc networks with overlay (SOPRANO). IEEE Communications Magazine, June 2002,40:149~157
- 6 Luo H, Ramjee R, Sinha P, Li L, Lu S. UCAN; A Unified Cellular and Ad hoc Network Architecture. MOBICOM

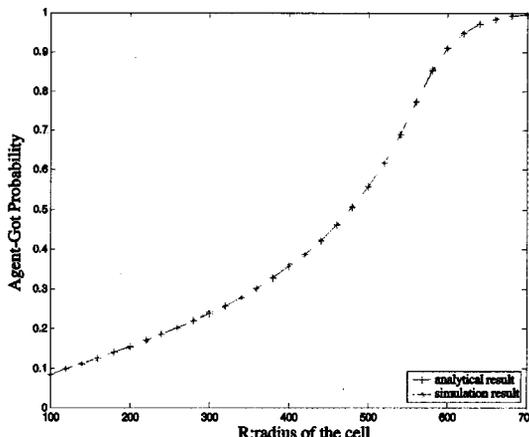


图 4 小区半径的影响