

近邻中继节点在异构网络中的分簇部署策略

黎 昂 曾利军 谭 艳

(湖南工学院网络信息中心 衡阳 421002)

摘 要 无线异构网络数据传输中过多的协同节点使得蜂窝网络接入环境产生更多的干扰。为了使异构网络环境下的网络干扰最小,提出了一种近邻中继节点在异构网络中的部署策略。该部署策略首先构造异构网络干扰模型,进而分析异构网络下的各种干扰情况,最终推导并计算异构环境下的中继节点中断概率和误码率。在实验数据分析中,采用最近邻算法和固定部署策略比较协同网络性能。理论和实验表明,最近邻的解决方案可以有效地提高在异构环境中的蜂窝系统性能,对无线异构网络的干扰达到较好的效果。

关键词 协同中继,近邻算法,策略部署,异构网络

中图分类号 TN925.9 **文献标识码** A

Closest-neighbor Node Clustering Strategy in Heterogeneous Wireless Relay Network

LI Ang ZENG Li-jun TAN Yan

(Network Information Center, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421002, China)

Abstract To improve the accessing performance in a heterogeneous cellular domain, a new relay node clustering strategy was adopted into heterogeneous wireless network. At first, the heterogeneous interference models for relay network were derived, which have great influence on wireless accessing performance. Secondly, system outage probability was given under heterogeneous relay network, so as to get symbol error rate. On the basis of these, Closest-neighbor clustering algorithm was used to achieve an good performance. As a comparison, fixed node deployment strategy was adopted to understand cooperative performance. In numerical simulation, the Closest-neighbor solution shows an effectively performance improvement in the heterogeneous cellular network.

Keywords Cooperative node, Closest-neighbor clustering algorithm, Strategies deployment, Heterogeneous wireless network

1 引言

异构无线融合是无线接入发展的必由之路,为了达到最大的频谱利用率,现有无线融合的研究侧重于异构无线资源^[1]的有效利用。通过网络节点的有效部署,可以大大提高无线资源利用率^[2]。

协同理论由 Laneman 于 2001 年提出^[3]。它包括放大和转发(AF)传输协议、解码和转发(DF)传输协议和压缩和转发(CF)传输协议。在一般情况下,协同中继传输可以用来改善蜂窝系统的覆盖性。通过协同不同的无线资源,基于协同中继的无线网络将比传统的蜂窝系统表现出更好的覆盖性能。在文献[4]中, M. Gastpar 提供了多中继协同传输的链路级性能,由于系统性能是整个蜂窝链路级的数学期望,文中未考虑产生于不同传输阶段的干扰因素。

近年来,中继部署策略得到了广泛研究。在文献[5,6]中, Simon 等人通过引用一些工程参数提出了大都市、局域网和广域无线电传输部署策略。此外,文献[7]为支持 TE-Advanced 的中继架构提供了有效论证。在文献[8]中, Bin. L 证

明,系统容量可通过中继的部署逼近容量极限。文献[9]对一般的部署算法进行了研究,其中作者给出了最近邻算法、固定部署策略和 genie-aided 下限。然而,在异构网络中,基站传输信号可以采取不同的制式(如 WCDMA 和 WIFI),基站-中继链路和中继-移动台的链路可以视作正交关系。文中引出异构环境的中继和移动台的干扰模型,从而推导不同部署策略下的系统性能。

本文第 2 节分析异构环境、协作中继协议和干扰模型;第 3 节推导存在异构干扰的网络中断概率和误码率,研究近邻算法和固定中继的部署策略;第 4 节主要阐述 genie-aided 下限;最后通过数值分析,验证异构环境下的两种部署算法。

2 蜂窝覆盖模式

2.1 协作中继覆盖模型

图 1 示出异构覆盖环境的协作传输方案。为了实现最佳的资源利用率,移动节点可以直接访问到基站,或通过另一种空口制式访问中继节点。中继节点通过异构方式访问基站。当节点移动到基站弱信号覆盖区域时,它会自动切换到无线

到稿日期:2012-06-26 返修日期:2012-09-17 本文受国家自然科学基金重点项目(60933009),湖南省科技计划项目(2011GK3150),湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(湘教通(2011)272号)资助。

黎 昂(1979-),男,硕士,讲师,CCF 会员,主要研究方向为计算机网络技术、无线传感器网络, E-mail: liang@hnpu.edu.cn;曾利军(1976-),男,硕士,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、数据挖掘;谭 艳(1981-),女,硕士生。

中继接入方式。在这种情况下,终端完全通过无线中继传输节点接入网络。与此同时,移动节点也将受到其他无线中继节点的干扰。因此在实际网络中,无线中继传输节点只需要覆盖基站接收信号强度低的地区。如图1所示,按照 Okumura-Hata 信道模型随机生成的城市蜂窝环境会产生信号弱区,图中用小圆圈在蜂窝网络中描出。在信号强度弱的地方,使用异构无线中继传输节点覆盖。

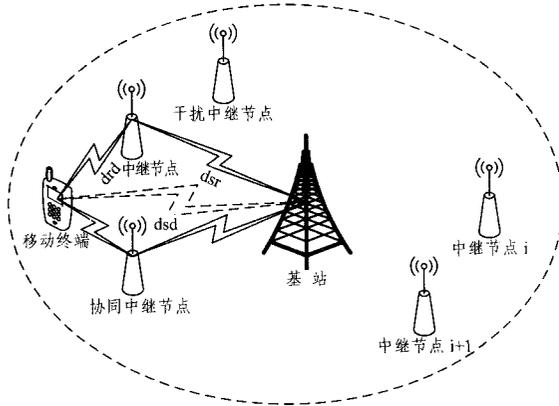


图1 带有覆盖弱区的协同蜂窝网络

在异构中继接入的方案中,基站信号通过广播到达中继站。只有当中继的接收信号功率大于阈值时,中继站才可以正确解码和转发基站信号给移动节点。以此选定合适的中继站作为协同的传输节点,而没被选中的中继节点则成为干扰节点,影响移动节点的接收信号。因此,这个问题可以分为两部分:协同传输过程和中继节点间的干扰过程。

2.2 协同中继传输模型

多中继节点覆盖的异构环境中,终端可由多个中继节点提供服务,而不提供服务的中继节点则对其产生干扰,对应的中继节点模型如图2所示。

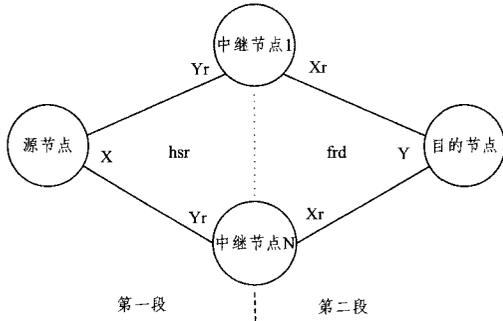


图2 多中继传输信道模型

从图2的三节点模型可知,终端和基站之间没有直接链路。异构中继三节点传输模型由源节点(Source)、中继节点(Relay)、目的节点(Destination)三组节点组成链路,其中中继节点个数大于1,用以产生传输分集增益。由文献[10]可知,在同一时刻最多只能有2~3个中继进行协同,否则性能无法得到较大提升。为了不失一般性,本节研究2个中继进行协同传输的场景。链路协议使用 Selective-DF,也就是只有超过接收门限的中继才能被选为协同传输节点。节点之间的符号关系如下:

$$R_i = h_i X + Z_{R_i}; \tilde{X} = X; Y_i = f_i \tilde{X} + Z_i \quad (1)$$

式中, X 表示源节点S的发送信号, R 表示中继节点的接收信号,经过 Selective-DF 中继后得到信号 x' ,转发给终端节点后得到信号 Y 。信道参数 h 由发射功率、大小尺度衰落参数组

成, $|h_{RS}^{k}|^2 = l_k \alpha_k$, $|h_{RT}^{k}|^2 = l_{RS,m} \beta_{m,k}$,假设所有的白噪声密度相同, $N_{RS}^{k} = N_{RT}^{k} = N_{m}^{k} = N_0$,所有基站的发射功率均相等,所有中继节点的发射功率也相同,参数 $\alpha_k, \beta_{m,k}$ 表示独立同分布的各阶段小尺度衰落,分别满足参数为 X 的指数分布。 l 表示由大尺度衰落造成的链路损耗。图2显示的中继传输场景中,由于第一段链路和第二段链路的传播环境不同,我们选择不同的传播模型分别建模如下:

$$P_{1,r} = 14.98 + 37.6 * \log_{10}(d_r)$$

$$P_{1,d} = 55.78 + 40 * \log_{10}(d_{rd}) \quad (2)$$

式中, d_{ij} 为节点间距离。由式(2)可知,干扰的大小与同频小区的距离 d 和复用因子 k 有关。

2.3 节点间的干扰模型

在异构网络环境中,由于终端和基站没有直接链路,因此可以假设终端和基站之间的信道绝对正交,其干扰可以忽略。

第一段传输中,干扰来自周围同频小区基站,假设同频小区集合为 N ,其干扰模型如下:

$$I(r) = \sum_{i \in N} \frac{P_0 |h_{ir}|^2}{\sqrt{3K}^\alpha d_{ir}^\alpha} \quad (3)$$

式中, K 为小区复用因子, α 为路损因子,由基站和基站之间的无线传播模型决定,建议采用以下路损模型:

$$\text{Pathloss} = 38.11 + 40 * \log(R) - 20 * \log(921.6) \quad (4)$$

第二段传输中,干扰来自未被选定协同传输的相邻中继节点集合 N 。假设建立干扰的物理模型为:

$$I(d) = \sum_{i \in N, i \neq r} \frac{P_0 |f_{id}|^2}{\sqrt{3}^\alpha d_{id}^\alpha} \quad (5)$$

此处的 α 可采用式(4)中确定的值。由此可以得出各段相应的干扰和噪声比(SINR):中继的接收 SINR 公式为式(6),终端的接收 SINR 公式为式(7)。这里终端通过最大比合并(Maximum Ratio Combine, MRC)所有的接收信号,获取协同传输分集增益:

$$\text{SINR}_r = \frac{P_0 |h_{sr}|^2 d_{sr}^\alpha}{N_0 + I(r)} \quad (6)$$

$$\text{SINR}_m = \sum_{r \in N} \frac{P_r |f_{rd}|^2 d_{rd}^\alpha}{N_0 + I(d_{rd})} \quad (7)$$

3 性能问题的推导

3.1 干扰模型

假设基站的发射功率一定,为了减小干扰,必须增大节点与同频小区的距离,提高复用因子。在异构网络环境中,虽然中继和终端都有接收干扰,经过 Selective-DF 中继之后,不会将干扰和噪声累加。因此,与传统中继部署不同,干扰的计算可以分成两段进行。在干扰模型可知,异构网络的中继部署需要满足以下条件:提高小区边缘覆盖质量,减小干扰、保证两段链路具有相同的传输能力。

3.2 中断概率

中断概率和误码率能准确表达节点部署对网络性能的增益情况。首先,根据信噪比公式,引入异构中继的信道容量公式,并由其推导中断概率和误码率。

$$C = \max(\min_{i \in N} I(X, R_i), I(R, Y)) \\ = \max(\min(\log(1 + \text{SINR}_r), \log(1 + \text{SINR}_m))/n) \quad (8)$$

由之前的定义知,此处的 $n=2$ 。为了保证中继通信的一定速率,第一跳和第二跳的干扰和性噪比均要大于门限,因此链路的中断概率由两段的中断概率相乘而成:

$$\begin{aligned} \Pr_{outage}(SINR_d \leq \gamma_c) &= \\ \Pr_{outage}(SINR_s < \gamma_c) &+ \Pr_{outage}(SINR_s > \gamma_c) \times \Pr_{outage} \\ (SINR_{rd} \leq \gamma_c) & \\ \Pr_{outage}(d_s, d_{rd}, \gamma_c) &= \\ 1 - \zeta(\gamma_c, d_s) &+ \zeta(\gamma_c, d_s) \times (1 - \zeta(\gamma_c, d_{rd})) = 1 - \zeta(\gamma_c, \\ d_s) \zeta(\gamma_c, d_{rd}) & \quad (9) \end{aligned}$$

式中, $\zeta(x, y) = \exp(-(N_0 + I_s)xy/P)$ 。当存在多中继协同链路时, Selective-DF 协议只选择大于接收门限的节点进行协同传输, 其余节点作为潜在协同节点。但在多用户场景中, 过多的中继重叠覆盖不能提供持续的增益, 中继数据增多反而会由于干扰增多、频率偏移等因素降低增益值。

假设终端和基站之间的距离为 d_{sd} , 终端在中继覆盖下的概率分布函数是 $\rho(x) = 2x/radius_{relay}^2$, 小区内中继数目的概率分布函数由不同的部署算法决定, 设算法函数为 $p(r)$, 小区内用户的平均中断概率为对式(9)求积分, 从而得到小区的平均中断概率:

$$\Pr_{outage_cell} = \int p(y) \int \Pr_{outage}(x, y) \rho(x) dx dy \quad (10)$$

从式(10)可以看出, 增益只能来自中继之间协同, 而没有源到目的节点之间链路的增益。该公式表达了小区内的平均中断性能, 积分上下限由不同的部署算法决定, 可以看出, 异构中继的中断概率由两段传输路径的接收信号质量以及中继部署的最优覆盖范围决定。为了达到最优化的部署, 需要降低两段传输的中断概率, 优化中继部署的覆盖大小。

3.3 误码率

误码率是衡量一个传输系统可靠性的重要指标, 对于多元调制信号, 由于接收机的判决是基于符号的, 因此更常采用误符号率, 即接收端发生符号错误的比例。线性调制系统的误符号率与其星座图中星座点间的欧几里距离有确切的函数关系。在 Selective-DF 协议中, 假设所有的误码来自多径传播和干扰环境, 而不考虑系统内部的因素。当 SINR 一定时, 误码率大小由不同的调制方式决定, 文献[11]中给出的形式为 $p_{ser}(\gamma) = \tau Q(\sqrt{\gamma})$, 其中函数 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$, τ, v 取值如表 1 所列。

表 1 误码率符号表

Modulation	τ	v
BPSK	1	2
M-PSK	2	$2\sin^2(\pi/M)$
M-QAM	4	$3/(M-1)$

从中断概率公式, 可以推导误码率的概率分布函数:

$$\begin{aligned} P_{ser}(\gamma) &= \tau E(Q(\sqrt{\gamma})) = \tau E(\Pr(x > \sqrt{\gamma})) \\ &= \tau E(\Pr(\gamma < x^2/v)) = \tau E(F(x^2/v)) \quad (11) \end{aligned}$$

代入式(10)之后, 得到相应的误码率:

$$\begin{aligned} &P_{ser}(r_s, r_{rd}, x^2/v) \\ &= \tau \int \int \int_0^\infty \Pr_{outage}(r_{rd}, r_s, x^2/v) \rho(r_{rd}) p(r_s) \delta(x) dx dr_{rd} dr_s \\ &= \tau \lim_{x \rightarrow \infty} \\ &\quad \left(\frac{\text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}x\right) \varphi(r_s, r_{rd}, \gamma) - \text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}x\varphi(r_s, r_{rd}, \gamma)\right)}{2\varphi(r_s, r_{rd}, \gamma)} \right) \quad (12) \end{aligned}$$

$\delta(x)$ 是 x 的 PDF 函数, $\delta(x) = e^{-x^2/2} / \sqrt{2\pi}$,

$$\phi(r_s, r_{rd}, \gamma) = \sqrt{1 + \frac{2r_s^2 P_r (N_0 + I_r) + 2r_{rd}^2 P_o (N_0 + I_{ns})}{K P_o P_r v \gamma}} \quad (13)$$

式中, $\text{erf}(x) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$ 是误差函数。中断概率公式和误码率公式都存在对 r_{rd} 、 r_s 的约束问题, 约束条件由不同的部署算法决定。

4 无线电传输的部署算法

4.1 固定策略

在固定部署中继场景中, 蜂窝小区被若干个中继均匀划分, 研究其中等分的一个扇区(见图 3)。

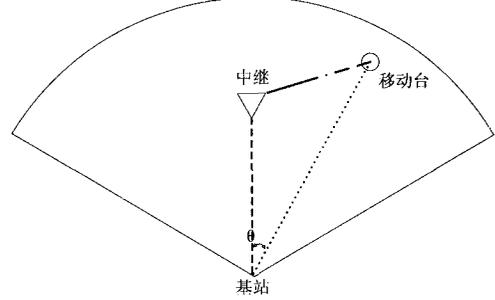


图 3 扇区内固定部署示意

在异构网络环境中, 按照固定中继部署时, 假设中继都位于半径的直线上, 中继节点部署的位置 r_{rd} 是 r_{sd} 、 r_s 及其角度的函数:

$$r_{rd}(\theta) = \sqrt{r_{sd}^2 + r_s^2 - 2r_{sd}r_s \sin\theta} \quad (14)$$

式中, r_{sd} 的大小满足 $\rho(x) = 2x/\rho^2$, 将其代入式(10)和式(12)中, 得到加上异构干扰影响后的中断概率和误符号率:

$$\Pr_{fixed} = \int_0^\rho p(r_{sd}) \int_{-\pi/n}^{\pi/n} \Pr_{outage}(r_s, r_{rd}(\theta), \gamma_c) \frac{n}{2\pi} d\theta dr_{sd} \quad (15)$$

$$P_{ser_fixed} = \tau \int_0^\rho p(r_{sd}) \int_{-\pi/n}^{\pi/n} P_{ser}(r_s, r_{rd}(\theta), \gamma_c) \frac{n}{2\pi} d\theta dr_{sd} \quad (16)$$

可以判断, 基站半径的变化导致干扰的变化, 因此中继最佳部署的位置应该随着干扰的增大而逐渐靠近基站, 并不是一个固定的最佳值。

4.2 最近邻算法

在该算法中, 用户在传输数据时, 始终选择距离最近的中继节点进行传输。假设在小区的任何位置, 用户均能够选择一个合适的中继进行传输, 因此中继的覆盖密度表现为中继覆盖面积对小区面积的微分函数, 用户的概率密度为中继覆盖面积内的均匀分布, r_s 和 r_{rd} 的约束条件为:

$$\rho(r_{rd}) = \frac{\partial A(r_s, r_{rd})}{\partial r_{rd}}; p(r_s) = \frac{\partial A(r_s, r_{rd})}{\partial r_s} / \pi \rho^2 \quad (17)$$

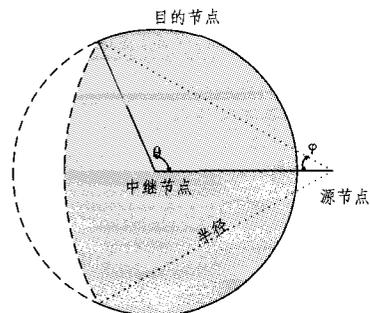


图 4 最近邻居部署算法示意

式中, $A(r_s, r_{nd})$ 为图 4 中黑色部分面积, 计算如下:

$$A(r_s, r_{nd}) = r_{nd}^2 \theta + \frac{r_{nd}^2 \sin(2\theta)}{2} + (\rho^2 \varphi - \rho^2 \sin(2\varphi)) \quad (18)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{r_{nd}^2 + r_s^2 - \rho^2}{2r_{nd}r_s}\right), \varphi = \arccos\left(\frac{\rho^2 + r_s^2 - r_{nd}^2}{2\rho r_s}\right), \text{代入}$$

式(10)和式(12), 得出在最近邻居算法中的异构小区平均性能:

$$\Pr_{NN_cell}(r_s, r_{nd}, \gamma_c) = \int_A \Pr_{outage}(r_s, r_{nd}, \gamma_c) \rho(r_{nd}) p(r_s) dr_{nd} dr_s \quad (19)$$

$$P_{ser}(r_s, r_{nd}, \gamma_c) = \tau E(\Pr_{NN_cell}(r_s, r_{nd}, x^2/v)) \quad (20)$$

4.3 下限值

文献[12]中给出了直线上的最佳部署位置, 以此分析出算法极限(Genie-Aided Lower-Bound), 中继位于终端和基站之间直线上的 $1/(1+(1/2)^{1-\alpha})$ 位置。为了求出异构小区内的误码率和中断概率下界, 做以下假设: 任一终端均有一直线上的中继进行传输, 中继节点均能部署在最佳位置上。

基于以上假设, 用户到中继的距离 r_{nd} 和中继到基站的距离 r_s 符合以下关系: $r_{nd} = r_{sd} - r_s$, 即 r_{nd} 与 r_s 符合一定的比例关系 ratio, 将此关系代入式(10)和式(12), 可得到 GA 算法的中断概率和误码率表示:

$$\Pr_{GA_cell}(r_{sd}, \gamma_c) = \int_0^\rho \Pr_{outage}(r_{sd} \cdot (1 - \text{ratio}), r_{sd} \cdot \text{ratio}, \gamma_c) \rho(r_{sd}) dr_{sd} \quad (21)$$

$$P_{ser}(r_{sd} \cdot (1 - \text{ratio}), r_{sd} \cdot \text{ratio}, \gamma_c) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}x\right) \varphi(r_{sd} \cdot (1 - \text{ratio}), r_{sd} \cdot \text{ratio}, \gamma_c) - \text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}x\right) \varphi(r_{sd} \cdot (1 - \text{ratio}), r_{sd} \cdot \text{ratio}, \gamma_c) \right) / 2\varphi(r_{sd} \cdot (1 - \text{ratio}), r_{sd} \cdot \text{ratio}, \gamma_c) \quad (22)$$

可以求出最佳比率数值结果为:

$$\text{ratio} = 2 \cdot \left(\frac{K(P_0 N_0 + P_0 I_{ms} + N_0 P_1 + I_{rs} P_1)}{2\gamma_c(N_0^2 + N_0 I_{ms} + N_0 I_{rs} + I_{rs} I_{ms})} \right)^{1/\alpha} \quad (23)$$

由于不存在基站到终端的直接链路, 因此单中继无法产生协同分集作用。式(23)未考虑多中继协同分集对干扰和异构网络环境的影响, 因此推导的结果会有些偏差, 比如在多中继协同场景下, 由于多中继分集增益的存在, 使得用户的性能得到进一步提升, 而节点间干扰对系统性能则有负面影响。

5 数值分析

如图 1 所描述的, 通过运行 100 次蒙特卡洛仿真所产生的随机蜂窝网络来评估部署算法。误码率由具体的调制方式决定。本文将 QPSK(正交相移键控)与 16QAM(正交调幅)进行对比。

图 5 所示为大尺度衰落对系统中断概率的影响, 大尺度衰落模型为 Nakagami-m 信道。在中继节点的覆盖范围内, 用户是随机分布的, 中继覆盖范围越大, 其容纳的用户数也可能越多。因此, 中继节点的覆盖半径越大, 其对应的中断概率性能越差。图中比较了基站至终端存在直达路径以及存在协同传输时的性能。小圆圈标注的性能曲线是基站至终端存在直达路径时, 未考虑节点间干扰的系统仿真结果; 星条线表示存在系统干扰时的系统性能, 蓝色线表示协同环境下的系统中断概率性能。当协同传输的两段干扰过程独立时, 可见其中断概率较同构环境有明显提升。由于未考虑节点间干扰, 最近邻居(Closest Neighbor)算法和固定部署算法均能有效

提高异构网络的覆盖性能。由图中可以看出, 协同传输性能比直接传输有 10^2 到 10^5 数量级的提升。加入干扰模型后, 基站间干扰及大尺度衰落也导致中断概率维持在 10^{-4} 至 10^{-3} 之间。

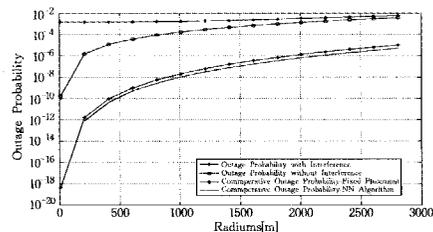


图 5 中断概率与干扰比较

图 6 对异构中继传输部署策略进行比较。当考虑干扰模型和异构传输时, 固定部署策略开始变坏并接近 GA 上限, 而最近邻算法更接近 GA 下限。此外, 通过上述算法比较了不同调制方式下的误码率大小, 最近邻算法比特差错率性能较好。数值计算结果显示如图 7 所示, 下限值可参考式(23)。由于大尺度衰落, 随着蜂窝半径的增加, 差错率曲线度变大。16QAM 比 QPSK 传输性能提升一个数量级, 且在 16QAM 调制方式下, 最近邻中继部署算法比固定部署算法性能更优。

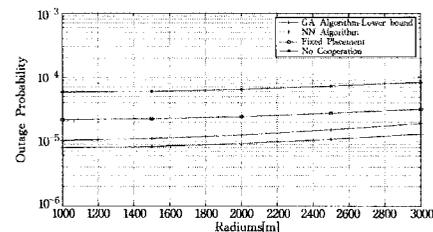


图 6 部署策略的中断概率

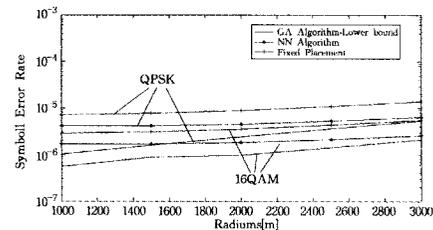


图 7 不同调制方式下的误码率大小

结束语 本文针对蜂窝小区的覆盖弱区, 提出了两种异构中继的部署算法: 固定部署和最近邻居算法。利用随机生成的蜂窝覆盖弱区, 验证算法对信号接收性能的分析比较。经过仿真分析和数值比较, 加入了节点间干扰模型后, 固定部署算法在异构网络环境中, 性能下降较为明显。最近邻解决方案求解得到的部署方法, 能够使得中断概率降低 1~2 个数量级。从数值比较分析看, 最近邻解决方案比固定的策略能获得更好的性能。从误码率性能比较可知, 16QAM 具有较好的传输性能, 能够有效适用于中继传输系统。

参考文献

- [1] Romero J P, Gelabert X, Sallent O, et al. Heterogeneous Wireless Access Networks Architectures and Protocols[M]. Springer Science Business Media, LL, 2008
- [2] Thomas W, Thomas H. LTE-Advanced Relaying and Radio Resource Management for Fast Broadband Wireless Deployment[C]// the 4th ITG-Conference. 2010

(下转第 72 页)

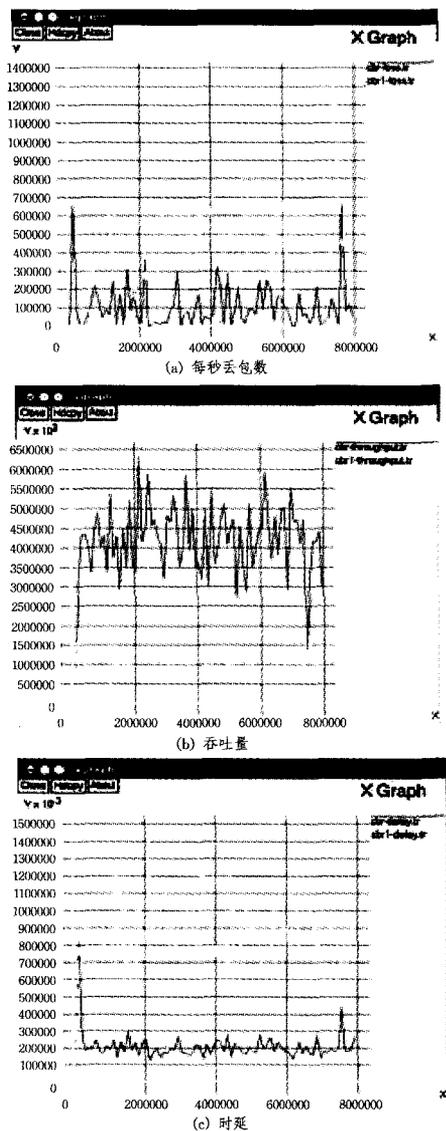


图5 第二次实验结果

结束语 规划路径算法用网关设备来执行算法,对一段时间内工业无线网络的所有消息路径统筹规划,打破路由节点查找路径算法的局限性,不但延长了节点生存时间,而且避免了消息拥塞和干扰,提高了可靠传输率。计算所需要的数

据由路由节点来统计,收集消息的次数和数据量以及生成的路由表是对上一段时间的消息路径最合理的安排。同时要注意到把这个路由表作为下一段时间消息路径的参照,具有一定的时效性。因此,合理安排统计的时间也是一个关键问题。时间过长,路由表就不能准确地指明最佳的消息路径;时间过短,路由表频繁更新是很大的计算负担,而且可能出现这样的问题,上一个短时期,某消息没有出现,下一个短时期,该消息出现了,这也造成路由表不准确。在工业无线网络中,节点和消息是相对稳定的,当统计样本越来越多的时候,就能更加准确地把握其规律,安排合适的时间段长短,对未来的通信情况作出合理的推测,这样生成的路由表更准确。

参 考 文 献

- [1] 冉鹏. ZigBee 网络路由协议性能研究与算法优化[D]. 上海: 同济大学, 2007
 - [2] 黄景博. 移动 Ad hoc 网络的节能路由技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007
 - [3] 游之洋, 龚伟, 赵曦滨, 等. 基于可用性信任模型的 AODV 路由协议改进[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(5): 35-738
 - [4] 曹斌, 陈佳品, 李振波. Ad hoc 网络中 AODV 路由协议优化[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(34): 126-128
 - [5] 彭瑜. 工业控制通信网络的实时性要求及现场总线的价值取向[J]. 自动化信息, 2006, 1: 21-24
 - [6] 周婵, 李昕. 工业无线传感器网络性能综合评价研究[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 82-84
 - [7] IETF. Framework for IP Performance Metrics, Table of Contents 6[S]. RFC 2330. 1998
 - [8] IETF. Framework for IP Performance Metrics, Table of Contents 11[S]. RFC 2330. 1998
 - [9] IETF. IPPM Metrics Measuring Connectivity[S]. RFC 2678. 1999
 - [10] IETF. A One-way Delay Metric for IPPM[S]. RFC 2679. 1999
 - [11] IETF. A Round Trip Delay Metric for IPPM[S]. RFC 2681. 1999
 - [12] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003, 11
-
- (上接第 48 页)
- [3] Laneman J N, Wornell G W, Tse D N C. An efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks[C] // Proc. IEEE ISIT. Washington, DC, June 2001: 294
 - [4] Gastpar M, Vetterli M. On the Capacity of Large Gaussian Relay Networks[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 51(3): 765-779
 - [5] Redana S, et al. Final assessment of relaying concepts for all CGs scenarios under consideration of related WINNER L1 and L2 protocol functions[Z]. IST-4-027756 WINNER II D3. 5. 3 v1. 0
 - [6] Peters S W, Panah A Y, Truong K T, et al. Relay Architectures for 3GPP LTE-Advanced [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009: 1-11
 - [7] Lin Bin, Ho Pin-han, et al. Optimal Relay Station Placement in Broadband Wireless Access Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(2)
 - [8] Liu K J R, Sadek A K, Su Wei-feng, et al. Cooperative Communications and Networking [M]. Cambridge University Press, 978-0-521-89513-2
 - [9] Zhu Yan, Zheng Hai-tao. Understanding the Impact of Interference on Collaborative Relays[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(5)
 - [10] Peng M, Wang W, Zhang Q. Performance Investigation of Cooperative Diversity in Heterogeneous Wireless Communication Systems[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(1)
 - [11] Proakis J G. Digital communications (4th Ed.) [M]. New York: McGraw-Hill, 2001
 - [12] Lin B, Ho P, et al. Optimal Relay Station Placement in Broadband Wireless Access Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(2)