

# 基于能效的中继节点选择策略

茆 俊,解培中,李 汀

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘 要:**中继选择在协作通信中占据着重要的地位。为了获得稳定的传输和较低的复杂度,提出了基于能效的中继选择策略。首先根据最大发送功率选出可靠节点,然后以可靠节点为协作中继进行传输,再分析传输过程中的能效,得到中继选择标准,利用该标准就能得到最优的中继节点,最后分析了协作传输过程中的能耗和频谱效率。采用蒙特卡罗方法对所提算法和基于位置信息以及基于信道增益的中继选择算法进行了仿真。结果表明,相比于其他的算法,该策略能有效提高系统能量效率,增强系统传输稳定性,降低能耗,且不影响谱效率。

**关键词:**中继选择;能量效率;频谱效率;能耗

中图分类号:TN929

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)06-0150-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.06.033

## A Strategy of Relay Node Selection Based on Energy-efficient

MAO Jun, XIE Pei-zhong, LI Ting

(Institute of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and  
Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Relay selection plays an important role in the cooperative communication. In order to obtain a stable transmission and low complexity, a relay selection strategy was put forward based on energy-efficient. Select reliable nodes by the maximum transmission power firstly, then use the nodes for cooperative relay transmission, getting the relay selection criteria from the analysis of energy-efficient in transmission process, having the criteria for getting the optimal relay node, finally analyze the energy consumption and spectral efficiency in transmission process. Monte Carlo method is used for the proposed algorithm and the relay selection algorithms based on location information and channel gains. Simulation results show that compared with other algorithms, the scheme can effectively improve energy-efficiency of the system, enhancing the transmission stability, reducing energy consumption and having no effect of spectral efficiency.

**Key words:** relay selection; energy-efficient; spectral efficiency; energy consumption

## 0 引 言

近年来,多中继节点构成的协作通信和协作通信中的能效优化问题,成为目前的研究热点之一。很多文献对如何选取中继节点使系统性能最优,以及对能效的优化分析做了大量的探讨研究。文献[1]提出了一种基于信道容量增益的中继节点选择策略,该策略选择一半的中继节点数就能获得和最优中继选择方法非常相近的系统性能,同时也降低了系统的功率损耗和实现复杂度。文献[2]提出了结合信道状态信息及距离信息的中继选择策略,探讨了中继选择标准,通过对该标准的分析得到最佳中继节点。该方法能有效降

低误码率,提高系统的容量,并且该方案的运算量以及复杂度都较低。文献[3]提出了一种基于信道容量增益的中继节点选取策略,并在此基础上提出了源节点和中继节点最优功率分配算法。

能量效率(energy-efficient)通常定义为每单位功耗下能成功接收到的比特数,所以为了提高能量效率,提出了各种资源分配策略。文献[4]中提出了协作通信下的能量效率,该系统模型只有一个源节点,一个目的节点以及一个传送节点,分别分析了在放大前向(AF)和译码前向(DF)这两种情况下的传送。文献[5]中主要涉及的内容有能量效率、最优节点选择(该

收稿日期:2014-07-14

修回日期:2014-10-20

网络出版时间:2015-05-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61201172);江苏省自然科学基金资助项目(13K20140881);南京邮电大学引进人才项目(NY210070);南京邮电大学国自孵化基金项目(NY213129)

作者简介:茆 俊(1991-),男,硕士研究生,研究方向为无线通信中的信号处理;解培中,副教授,研究方向为电子系统和无线通信中的信号处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150506.1627.016.html>

选择方法是基于时延节点选择算法<sup>[6]</sup>),并且还采用了 RTS/CTS 信号,在这篇文章中,功率分配是用来优化每比特下的功耗和网络的运行周期,但是没有考虑电路的消耗功耗。文献[7]中,电路的损耗和能量开销都有考虑,分析了节点的最优选择,并且与  $M$  组所有中继节点都传送时的性能进行了比较。结果显示,因为中继选择而多出了开销,所以  $M$  组的性能要比最优选择的性能好的多。文献[8-9]中,分析了系统级功耗模型下的能量效率,得出优化物理层系统参数同样可以提高能量效率。

之前大量的研究工作都是把电路损耗假定为常量,文献[10]中,提出了一种简单的线性电路功耗的模型,尤其是数字信号处理(DSP)功耗的模型。它是一个与发射带宽有关的线性函数,运用这种模型对能量效率和最优节点选择进行了分析,同时还与直接通信时的性能进行了比较。运用文献[10]中的功耗模型,文献[11]提出了在混合网络中高效节能的中继和无线电模式的选择,这里的混合网络指的是每个传送节点都能够访问多个无线接入网络。文献[12]分析了在最大发送功率受限的情况下,多个中继节点构成虚拟 MISO 时的能效,并考虑了以能效为目标的发送机制的选择和最优中继节点数的求取。文献[13]提出了基于瞬时信道增益的中继选择方案,这种方案能够获得完全的分集增益,但是需要大量的信道估计。文献[14]中根据中继节点间距离信息来获得最优中继节点。

文中提出了基于能效的中继节点的选择策略,首先进行可靠中继节点的选择,然后对每一传输阶段的能耗进行分析,从而得到中继节点的选择标准,最后通过该标准选择出最佳的中继进行传输从而使能效达到最优,功耗达到最小,系统性能得到提升。

## 1 系统模型

文中采用的系统模型如图1所示。一个源节点( $S$ )、 $M$ 个中继节点( $R_i, i=1,2,\dots,M$ )和一个目的节点( $D$ ),共同构成一个虚拟的 MISO 传输系统。中继节点随机分布在以源节点为圆心,  $R$  为半径的圆内;此时  $S$  与中继节点  $i$  之间距离  $d$  的概率密度函数为  $f(d) = 2d/R^2, 0 < d < R$ 。假设系统模型中  $S$  与  $i$  之间的信道系数为  $h_i$ , 是一个满足均值为0、方差为  $\sigma_{h_i}^2$  的复高斯随机变量,同样,节点  $i$  与  $D$  之间的信道系数为  $g_i \sim \text{CN}(0, \sigma_{g_i}^2)$  与文献[10]相同,信道路径损耗(dB)为:

$$\text{PL}(d) = \text{PL}_F(d_0) + 10\beta \log(d/d_0)$$

其中,  $\text{PL}_F(d_0) = -10\log(\lambda/4\pi d_0)^2$ ;  $\lambda$  为波长;  $d_0$  为参考距离;  $\beta$  为路径损耗指数。另设系统的最大发

射功率为  $P_{\max}$ 。

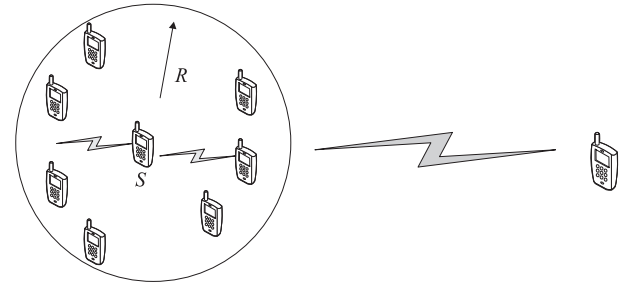


图1  $M$  个潜在节点的系统模型

## 2 中继选择策略

### 2.1 可靠节点选择与能耗分析

文献[12]将中继通信分为以下四个阶段:

- (1) 源节点与中继节点估测信道信息阶段;
- (2) 信道估测信息共享阶段;
- (3) 源节点向中继节点发送信息阶段;
- (4) 中继节点向目的节点发送信息阶段。

文中在第三阶段进行可靠节点的选择以保证传输过程的稳定性和减少运算的复杂性,现对每一阶段的具体能量损耗进行分析。

在第一、第二阶段时的能耗分别为<sup>[12]</sup>:

$$E_{\text{TR}} = (P_{\text{TR}}/\rho + (1 + M)P_c)N_{\text{TR}}T_s \quad (1)$$

$$E_{\text{CS}} = M(P_{\text{CS}}/\rho + (1 + M)P_c)b_Q T_s/b_{\text{IS}} \quad (2)$$

其中,  $N_{\text{TR}}$  为发送的训练符号数;  $T_s \approx 1/B$  为发送的持续时间,  $B$  是发送带宽;  $P_{\text{TR}}$  为第一阶段的发送功率;  $P_{\text{CS}}$  为第二阶段的发送功率;  $\rho$  为放大效率;  $b_Q$  为估测信道增益量化时所用的比特数;  $b_{\text{IS}}$  则为共享的数,单位为比特每符号;  $P_c$  为电路功耗。

第三阶段中,  $S$  向所有中继节点发送信息的链路简称为 SR 链路,中继节点向  $D$  发送信息的链路简称为 RD 链路。在本阶段开始时,分别用 SR、RD 阶段每个中继节点的发送功率  $P_{\text{SR}}$ 、 $P_{\text{RD}}$  同时与系统最大发送功率  $P_{\max}$  进行比较,选出两个可靠节点的集合  $N$  与  $L$ , 然后对  $N$  与  $L$  取交集运算得到集合  $A$ , 然后再由  $A$  中的节点向源节点  $S$  反馈信息表明身份,则  $A$  的值就是 SR 阶段源节点所要发送信息的中继节点,即  $N = \{i \mid P_{\text{SR}_i} \leq P_{\max}\}$ ,  $G = \{i \mid P_{\text{RD}_i} \leq P_{\max}\}$ ,  $A = N \cap G, i = 1, 2, \dots, M$ 。当  $S$  向节点  $i$  发送  $L$  比特的数据时,该阶段的能耗为:

$$E_{\text{SR}} = (P_{\text{SR}}/\rho + (1 + J)P_c)T_{\text{SR}} + \left(\sum_{i=1}^J P_{\text{SR}_i}\right)T_1 + MP_c T_2 \quad (3)$$

其中,  $J$  为集合  $A$  中的中继点数,  $J \leq M$ ;  $T_1$  为反馈信息时所耗时间,  $T_2$  为节点筛选整个过程所耗时间,  $T_1 < T_2$ ;  $T_{\text{SR}} = L/(b_{\text{SR}}B)$  是  $S$  向中继节点发送  $L$  比特数据所需时间,当  $L$  过大时,  $T_1 \ll T_2 \ll T_{\text{SR}}$ 。

在瑞利衰落信道中,SR 链路自适应的瞬时发送功率为  $P_{\text{SR}} = \gamma_{\text{th}}(b_{\text{SR}})P_{\text{N}}/H_{\text{min}}$ ,  $P_{\text{N}} = N_0B$  是噪声功率,  $H_{\text{min}}$

是 SR 传输链路中最小信道增益,满足方差  $\sigma_{\text{sr}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^J \sigma_{h_i}^2}{J}$

的指数分布,  $\gamma_{\text{th}}(b_{\text{SR}})$  是以  $b_{\text{SR}}$  比特每符号进行传输,满足目标误比特率  $p_{\text{th}}$  时所需的 SNR,在 M-QAM 中,

$$\gamma_{\text{th}}(b_{\text{SR}}) = -\frac{1}{c_2}(2^{b_{\text{sr}}} - 1) \ln\left(\frac{P_{\text{th}}}{c_1}\right), c_1 = 0.2, c_2 = 1.5。$$

第四阶段中,首先在集合  $A$  中选择一个中继节点,然后用所选的节点向目的节点发送信源信息。则整个 RD 链路过程的总能耗为:

$$E_{\text{RD}} = (P_{\text{RD}}/\rho + 2P_{\text{C}})T_{\text{RD}} \quad (4)$$

其中,  $P_{\text{RD}} = \gamma_{\text{th}}(b_{\text{RD}})P_{\text{N}}/(\|g_i\|^2 M)$ ;  $T_{\text{RD}} = L/(b_{\text{RD}}B)$  为发送  $L$  比特数据的总时间。

至此,从以上四个阶段的能耗分析可得,在整个系统传输过程中的总能耗为:

$$\begin{aligned} E_{\text{OV}} &= E_{\text{TR}} + E_{\text{CS}} + E_{\text{SR}} + E_{\text{RD}} = \\ &\frac{1}{\rho}(P_{\text{TR}}N_{\text{TR}} + MP_{\text{CS}}\frac{b_{\text{Q}}}{b_{\text{IS}}})T_{\text{S}} + \frac{1}{\rho}P_{\text{SR}}T_{\text{SR}} + \\ &(1+J)P_{\text{C}}T_{\text{SR}}P_{\text{C}}((1+M)N_{\text{TR}} + \\ &M(1+M)\frac{b_{\text{Q}}}{b_{\text{IS}}})T_{\text{S}} + (\sum_{i=1}^J P_{\text{SR}_i})T_1 + \\ &MP_{\text{C}}T_2 + (P_{\text{RD}} + 2P_{\text{C}})T_{\text{RD}} \end{aligned} \quad (5)$$

## 2.2 最优中继选择标准

上节最后部分提到了对中继节点进行选择,本节中将介绍如何对中继节点进行选择。由式(5)可知系统的总能耗为  $E_{\text{OV}}$ ,那么由能量效率的定义可得能效 (bit/Joule) 公式:

$$\text{EE} = \frac{L}{E_{\text{OV}}} \quad (6)$$

对上式进行联合化简并当  $L$  比较大时得:

$$\begin{aligned} \text{EE} &= \frac{1}{E_{\text{OV}}/L} = \\ &\frac{b_{\text{RD}}B}{(P_{\text{SR}}/\rho + (1+J)P_{\text{C}})b_{\text{RD}}/b_{\text{SR}} + P_{\text{RD}}/\rho + 2P_{\text{C}}} = \\ &\frac{b_{\text{RD}}B}{\frac{1}{\rho}(P_{\text{SR}}\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}} + P_{\text{RD}}) + (2 + (1+J)\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}})P_{\text{C}}} \end{aligned} \quad (7)$$

由于  $P_{\text{SR}}、P_{\text{RD}}$  是自适应的,不同的信道下 EE 的值是变化的,所以对 EE 取均值,即为:

$$\overline{\text{EE}} = \frac{b_{\text{RD}}B}{\frac{1}{\rho}(\bar{P}_{\text{SR}}\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}} + \bar{P}_{\text{RD}}) + (2 + (1+J)\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}})P_{\text{C}}} \quad (8)$$

由文献[12]得到

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{SR}} &= -\frac{P_{\text{SR}}^{\text{req}} \text{Ei}(-\eta_{\text{SR}})}{\sigma_{\text{SR}}^2 e^{-\eta_{\text{SR}}}}, \bar{P}_{\text{RD}} = -\frac{P_{\text{RD}}^{\text{req}} \text{Ei}(-\eta_{\text{RD}})}{\sigma_{\text{RD}}^2 e^{-\eta_{\text{RD}}}}, \\ \eta_{\text{SR}} &= \frac{\gamma_{\text{th}} b_{\text{SR}} P_{\text{N}}}{P_{\text{max}} \sigma_{\text{SR}}^2}, \eta_{\text{RD}} = \frac{\gamma_{\text{th}} b_{\text{RD}} P_{\text{N}}}{P_{\text{max}} \sigma_{\text{RD}}^2} \end{aligned}$$

其中,  $P_{\text{SR}}^{\text{req}}$  为满足目标 SNR 所需的接收功率;  $P_{\text{RD}}^{\text{req}}$  也是一样;  $\text{Ei}(\cdot)$  为指数积分函数。

当对 EE 进行最大化时,系统的性能会达到最优,即 maxEE; 该式由于分子的值都是一个定值,故对该优化可以转换为对分母求最小化:

$$\begin{aligned} \min_{P_{\text{RD}}, P_{\text{SR}}} &\frac{1}{\rho}(\bar{P}_{\text{RD}} + \bar{P}_{\text{SR}}\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}}) + (2 + (1+J)\frac{b_{\text{RD}}}{b_{\text{SR}}})P_{\text{C}} \\ \text{s. t. } &\bar{P}_{\text{RD}} \leq P_{\text{max}}, \bar{P}_{\text{SR}} \leq P_{\text{max}} \end{aligned} \quad (9)$$

则式(9)就是中继节点的选择标准,即可靠节点集合  $A$  通过上式的筛选就可以得到所需的最优节点。

综上所述可以得到基于能效的中继选择策略为:

(1)首先利用最大发送功率受限来筛选出可靠节点集合  $A$ ;

(2)然后以集合  $A$  为传输中继,利用式(9)计算集合  $A$  中的每个节点的能效;

(3)比较所有计算的能效值,得到最小值,则该值对应的节点即为使能效最优的中继节点;

(4)最后用所选的中继节点进行数据传输。

## 2.3 中继选择对频谱效率的影响

频谱效率 (Spectral Efficiency) 定义为单位频率所能获得的传输容量 (传输能力),参考文献[15]中的式(1)得到谱效率公式为:

$$\eta_{\text{SE}} = \frac{L_{\text{C}}}{BT} p_{\text{s}} \quad (10)$$

其中,  $L_{\text{C}}$  为传输的容量;  $B$  为带宽;  $T$  为传输时间;  $p_{\text{s}}$  为传输过程中成功传输的概率。

由式(10)可以看出,在  $B$  一定时,频谱效率的值取决于容量、时间和成功传输概率,当容量  $L_{\text{C}}$  确定时,时间  $T$  也就确定了,此时主要取决因素则是  $p_{\text{s}}$ 。对于 SR 与 RD 链路的传输其成功传输的概率为:

$p_{\text{s}} = p_{\text{SR}} p_{\text{RD}} = \Pr\{P_{\text{SR}} \leq P_{\text{max}}\} * \Pr\{P_{\text{RD}} \leq P_{\text{max}}\}$  对于自适应直接链路 (ADC)<sup>[10]</sup> 传输其概率为:

$$p_{\text{s}} = p_{\text{SD}} = \Pr\{P_{\text{SD}} \leq P_{\text{max}}\}$$

进行最优中继选择后传输的概率为:

$$p_{\text{s}} = 1$$

## 3 仿真结果与分析

文中采用蒙特卡罗仿真对上述结果进行仿真验证,假设整个传输过程中信道是瑞利衰落的,电路功耗  $P_{\text{C}}$  为常量,整个传输过程中的最大发送功率为  $P_{\text{max}}$ , SR、RD 链路过程中分别采用 64-QAM 和 4-QAM 调

制,仿真过程用到的各参数的值如表1所示。

表1 仿真参数

| 参数                            | 数值        |
|-------------------------------|-----------|
| 节点设置半径 $R/\text{m}$           | 20        |
| 参考距离 $d_0/\text{m}$           | 1         |
| 带宽 $B/\text{MHz}$             | 10        |
| 放大效率 $\rho/\%$                | 38        |
| 路径损耗指数 $\beta$                | 3.0       |
| 最大发送功率 $P_{\max}/\text{dBm}$  | 20        |
| 电路功耗 $P_c/\text{mW}$          | 100       |
| 目标误比特率 $p_{\text{th}}$        | $10^{-4}$ |
| 载波频率 $f_c/\text{GHz}$         | 2.5       |
| 噪声功率谱密度 $N_0/(\text{dBm/Hz})$ | -174      |

图2给出了距离  $d=200\text{ m}$ ,潜在节点数  $M$  不断变化时的最优节点选择和全部节点选择相比较的能效曲线图。

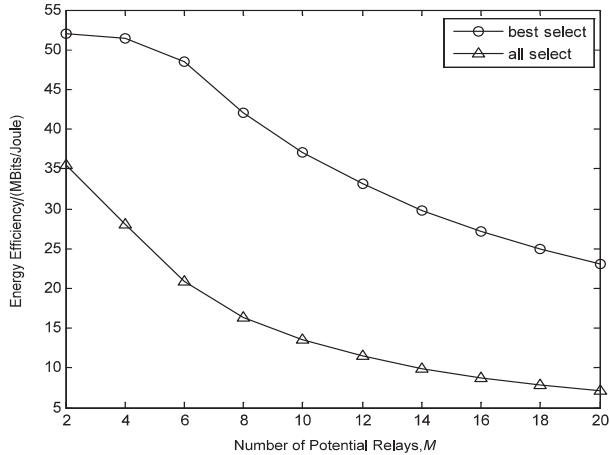


图2 能效曲线图

从图中可以看出,当  $M$  越来越大时,最优节点选择和全部节点选择的能效值都在递减,在起始处的值最大,这主要是由于当节点数增大时,对最优节点选择主要是可靠节点的数  $L$  在随之增加,导致电路功耗的增大,而发送功率相对变化的比较小;对全部选择则也是由于电路功耗的增大导致最终的能效值随之减小。从图2的结果可以明显得到,最优中继选择的性能要比全部选择的性能要好,能效幅度提高约  $17\sim 28\text{ MBits/Joule}$ 。

图3给出的是文中提出的最优节点选择算法,与全部节点选择、ADC、基于位置信息以及基于信道增益中继选择算法的比较图。从图中看到,当距离  $d$  在  $100\sim 180\text{ m}$  范围内时,ADC的性能值最好,最优选择次之,另外三种性能最差,即在短距离时,直接传输的性能要优于中继传输;当距离  $d>180\text{ m}$  时,最优中继选择的性能最好,随着距离的不断增大,最优中继选择的优点就越明显,当  $d=500\text{ m}$  时能效值提高大约  $37$

$\sim 40\text{ MBits/Joule}$ ,此时直接传输的性能最差,能效值约为  $0\text{ MBits/Joule}$ ,即在中远距离时,中继传输的性能要明显优于直接传输。所以文中提出的最优中继选择传输策略要优于节点全部参与传输、基于位置信息选择方案、基于信道增益选择方案的性能。图中最优节点选择的能效曲线随着距离的增大有增有减,随着  $d$  的增大,发送功率的增加导致性能曲线降低,由于可靠节点数  $L$  变小则导致性能曲线出现了上升的情况。

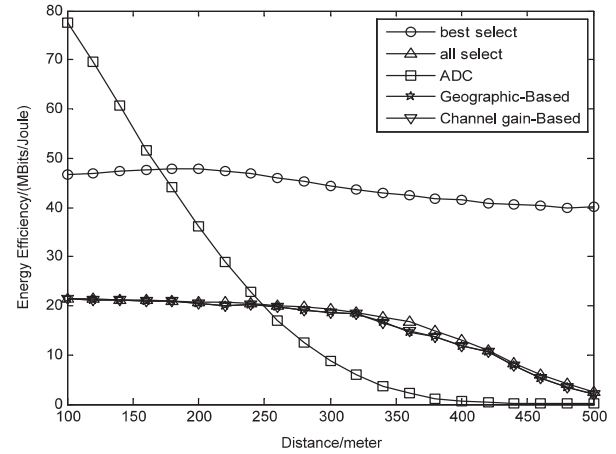


图3 在节点数  $M=6$ ,距离  $d$  变化时不同节点选择方案的能效

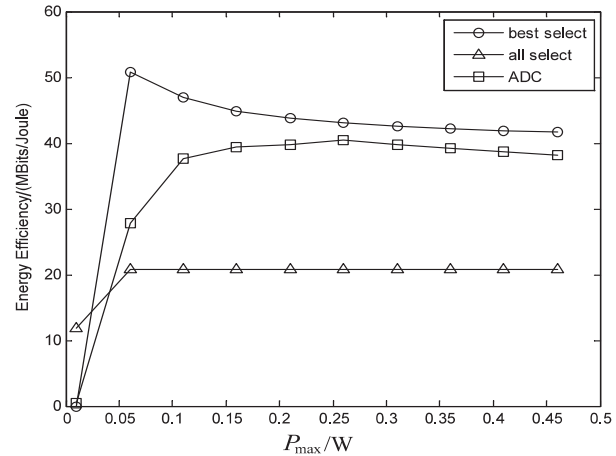


图4 最大功率  $P_{\max}$  变化时三种传输选择的能效

图4给的是距离、节点数都一定时,最大功率  $P_{\max}$  变化时的最优节点选择、全部节点选择以及自适应直接传输(ADC)的曲线图。当  $P_{\max}$  一开始趋于  $0$  时,最优选择和ADC传输的效果最差为  $0\text{ MBits/Joule}$ ,既没有选择到可靠节点,直接传输也不满足条件,全部节点选择最好;随着  $P_{\max}$  增大,最优选择的能效值先增后减,这是由于  $P_{\max}$  大时可靠节点的筛选数由少增多导致最终的能耗值先小后大,故最终的能效如图所示;ADC的能效值则是呈现先快速增加后再缓慢减小,这是因为  $P_{\max}$  增大,直接传输的中断减小,使得能效递增,能效值减小则是信道增益的微量变化引起的;全部节点传输在  $P_{\max}$  达到  $0.06\text{ W}$  时就趋于稳定,变化幅度



小,原因同 ADC 传输。

图5给出了在节点  $M=4$  和  $P_{\max}=20$  dBm 时的最优节点选择、全部节点选择以及直接传输的谱效率。最优节点与全部节点的容量都为  $L$ , 时间都为  $T_{\text{SR}} + T_{\text{RD}}$ , ADC 的容量<sup>[10]</sup>为  $b_{\text{SD}}N_{\text{ADC}} = 1.98 \frac{T_{\text{C}}}{T_{\text{S}}}$ , 时间为  $T_{\text{C}}$ 。结果显示在短距离时, ADC 的谱效率最好约为 1.9 Bits/(Sec · Hz), 随着距离的增加, 最优节点选择的谱效率保持不变, 一直约为 1.5 Bits/(Sec · Hz), 其他都呈递减趋势; 当  $d=500$  时趋向于 0 Bits/(Sec · Hz), 表明此时的信道已经中断, 目标节点不再接收任何信息。

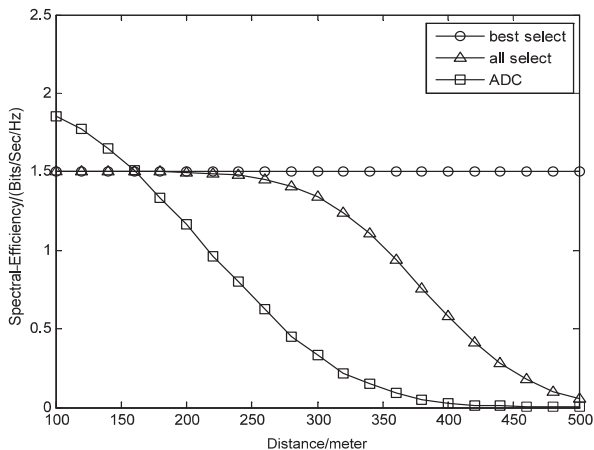


图5 最优节点选择、全部节点选择以及直接传输的谱效率

## 4 结束语

文中在总发送功率受限情况下, 提出了一种基于能效的中继选择方案。通过筛选中继节点得到可靠中继节点以确保中继节点能准确地发送信息, 降低选择的复杂度和传送的稳定性, 然后通过对传输过程每个阶段的能耗分析得到能效公式, 从而进一步得到中继节点的选择标准。仿真说明该选择中继方案可以提高系统的能量效率, 能效依赖于中继节点的分布, 并且该方案不影响谱效率。

### 参考文献:

[1] 李 易, 邱 玲, 柳卫平. 基于译码—转发的多中继协作节点选择方法[J]. 通信技术, 2010, 43(4): 56–58.  
 [2] 陈纯锴, 谢 红. 改进的协作中继节点选择策略[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2012, 33(2): 240–243.

[3] 高伟东, 王文博, 袁广翔, 等. 协作通信中的中继节点选取和功率分配联合优化[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(2): 68–71.  
 [4] Chen Qing, Gursay M C. Energy efficiency analysis in amplify-and-forward and decode-and-forward cooperative networks [C]//Proc of wireless communications and networking conference. Sydney: IEEE, 2010: 1–6.  
 [5] Zhou Z, Zhou S, Cui J H, et al. Energy-efficient cooperative communication based on power control and selective single-relay in wireless sensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communication, 2008, 7(8): 3066–3078.  
 [6] Bletsas A, Khisti A, Reed D P, et al. A simple cooperative diversity method based on network path selection [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2006, 24(3): 659–672.  
 [7] Xiao Yao, Cimini L J. Energy efficiency of distributed cooperative relaying [C]//Proc of military communications conference. Baltimore: IEEE, 2011: 73–78.  
 [8] Li Ye, Bakkaloglu B, Chakrabarti C. A system level energy model and energy-quality evaluation for integrated transceiver frontends [J]. IEEE Trans on Very Large Scale Integration System, 2007, 15(1): 90–103.  
 [9] Gabran W, Daneshrad B. Hardware and physical layer adaptation for a power constrained MIMO OFDM system [C]//Proc of IEEE international conference on communications. Kyoto: IEEE, 2011: 1–6.  
 [10] Lim G, Cimini L J. Energy-efficient best-select relaying in wireless cooperative networks [C]//Proc of 46th annual conference on information sciences and systems. Princeton: IEEE, 2012: 1–6.  
 [11] Lim G, Cimini L J. Energy-efficient cooperative relaying in heterogeneous radio access networks [J]. IEEE Wireless Communication Letter, 2012, 1(5): 476–479.  
 [12] Lim G, Cimini L J. Energy-efficient cooperative beamforming in clustered wireless networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(3): 1376–1385.  
 [13] Ibrahim A S, Sadek A K, Su W, et al. Cooperative communications with relay selection: when to cooperate and whom to cooperate with? [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(7): 2814–2827.  
 [14] Wang C L, Syue S J. A geographic based approach to relay selection for wireless Ad Hoc relay networks [C]//Proc of IEEE vehicular technology conference. Barcelona: IEEE, 2009: 1–5.  
 [15] Xiao Yao, Cimini L. Spectral efficiency of distributed cooperative relaying [C]//Proc of 45th annual conference on information sciences and systems. Baltimore: IEEE, 2011: 1–6.

# 基于能效的中继节点选择策略

作者：[茆俊](#)，[解培中](#)，[李汀](#)，[MAO Jun](#)，[XIE Pei-zhong](#)，[LI Ting](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(6)

引用本文格式：[茆俊](#).[解培中](#).[李汀](#).[MAO Jun](#).[XIE Pei-zhong](#).[LI Ting](#) [基于能效的中继节点选择策略](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(6)