

# 角域遗传算法在中继系统中的应用研究

陈春超<sup>1</sup>, 赵毅峰<sup>2</sup>, 黄联芬<sup>2</sup>

(1.厦门大学 电子工程系, 福建 厦门 361005; 2.厦门大学 通信工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 在低秩视距环境下,为了获得MIMO中继系统的最佳系统容量,中继节点(RS)的位置选择至关重要。此研究利用角域遗传算法,缩小了粒子群搜索范围,可以精确寻找RS的最佳位置,提高了算法的收敛速度,减少了伪极值产生的可能性,快速提高系统容量。仿真实验表明,遗传算法应用于中继节点的位置选择,可较大幅度地提高系统容量。

**关键词:** 中继节点; MIMO; 中继系统; 遗传算法

**中图分类号:** TN925-34

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-373X(2013)07-0001-03

## Application of angular domain genetic algorithm in relay system

CHEN Chun-chao<sup>1</sup>, ZHAO Yi-feng<sup>2</sup>, HUANG Lian-fen<sup>2</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Department of Communication Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** In order to obtain the best system capacity of the MIMO relay system in low rank line-of-sight (LOS) environment, it is essential to choose the position of the relay stations (RS). The angular domain genetic algorithm, which narrows the scope of the particle swarm search, can accurately find the optimal location of RS, improve the speed of convergence of the algorithm, reduce the possibility of pseudo extreme value generation and improve the system capacity. Simulation results show that the angular domain genetic algorithm is applied to the selection of appropriate location of the relay stations and the dramatical improvement of system capacity.

**Keywords:** relay station; MIMO; relay system; genetic algorithm

## 0 引言

在未来采用MIMO技术的3G增强系统及4G系统中,随着高速率业务的普及和发展,收发天线之间的通信速率和链路质量将成为限制系统应用的瓶颈。在低秩视距环境下,MIMO系统空间自由度较小,无法充分发挥MIMO系统的优势<sup>[1]</sup>。若能在收发天线中间区域布置一定数量的中继节点(Relay Station, RS),可以改善信道的传播环境,提高系统容量。但当RS的数量一定时,其位置的分布情况将对整个系统的质量起到决定性作用<sup>[2]</sup>。

RS位置选择问题在业界广泛受到关注,因为应用目的不同,场景不同,RS的位置选择的算法也有许多<sup>[3-4]</sup>,但是这些传统的算法过程繁琐,缺乏精度,并未得到普遍的推广。本文提出的角域遗传算法应用于中继系统中提升系统容量。所谓的低秩视距环境是指具有一定高

度的接收双方之间具有较好的通视条件,或者是接收双方之间没有较高阻挡物的准视距环境,这种情况下通信的多径效应并不明显。

所谓的遗传算法是仿效生物的进化与遗传的一种算法,它根据生存竞争和优胜劣汰的法则,借助于遗传操作,使所求解的问题逐步逼近最优解<sup>[5]</sup>。遗传算法是一种并行启发式搜索的先进算法。与其他方法相比,遗传算法通用性、鲁棒性强、全局搜索能力强,适合全局优化问题的求解。但是遗传算法本身存在一定的缺陷,在寻找RS的过程中,它的收敛速度太慢、随机性太大,并且容易产生伪极值<sup>[6]</sup>。针对这些缺点,本文通过采用角域遗传算法,缩小中继节点位置搜索范围,克服基本遗传算法的缺点,仿真表明中继系统的容量性能得到了提升。

## 1 系统分析

本文考虑在低秩视距环境下,基于 $L$ 个单天线RS辅助的MIMO系统<sup>[7]</sup>。在该系统中,第 $k(k=1, 2, \dots, L)$ 个RS的信号传播几何模型如图1所示。

收稿日期:2012-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61172097);福建省自然科学基金资助项目(2012J01424)

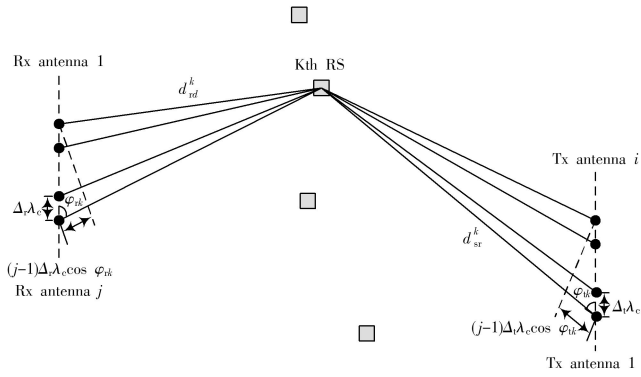


图1 MIMO系统第k个RS的信号传播几何模型

由于各天线功率分配方式不同,会对系统容量产生一定程度的影响<sup>[8]</sup>。本文采用等功率分配法,中继系统容量为<sup>[9]</sup>:

$$C_{eq} = \frac{1}{2} \log_2 \det \left( \mathbf{I}_{n_r} + \frac{P}{n_t} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \mathbf{Q}_n^{-1} \right) \quad (1)$$

式中: $n_t, n_r$ 分别为发送端、接收端天线个数; $\mathbf{I}_{n_r}$ 为单位矩阵; $P$ 为系统功率; $\mathbf{Q}_n = E(\mathbf{nn}^H)$ 为等效接收噪声的自相关函数; $\mathbf{n}$ 为等效接收噪声; $\mathbf{H}$ 为发送端与接收端之间的信道矩阵。

可知,系统容量与中继节点位置、发送功率、发送与接收天线阵列间距及视距分量功率比 $K$ 等参数相关。而在这些参数中,中继节点位置影响最大,因此可以通过中继节点位置的选择,从而获得系统容量的最大化。

## 2 角域遗传算法在中继系统中的应用

### 2.1 遗传算法流程

遗传算法模拟基因重组与进化的自然过程,把待解决问题的参数编码构成个体,许多个体构成种群,种群中的个体进行选择、交叉和变异的运算,经过多次重复迭代直至得到最后的优化结果。它的本质是一种并行的全局优化算法。

MIMO中继系统的平面场景如图2所示,发送端(Source)与接收端(Destination)的天线数目都为4,中继节点数为3个,并任意分布于发送端天线与接收端天线之间的空间中,用于改善信道的传播环境,LOS为直射路径,不用经过中继节点转发。应用遗传算法的目的就是为中继节点寻找最佳位置,以使整个MIMO系统获得最大通信容量。

遗传算法的应用流程如下:

#### (1)初始化

本文主要采用二进制编码,对3个RS的位置的坐标 $(X, Y)$ 取值范围分别进行离散,即将十进制变量域离散成二进制变量域,离散后的变量域重新组合成染色体

(或个体),用 $J$ 表示。

初始确定种群大小 $m$ ,作为初始群体 $P(0)$ ;设置最大遗传代数 $t$ ;对于个体 $J$ 值,可在二进制变量域内选取随机产生的整数。

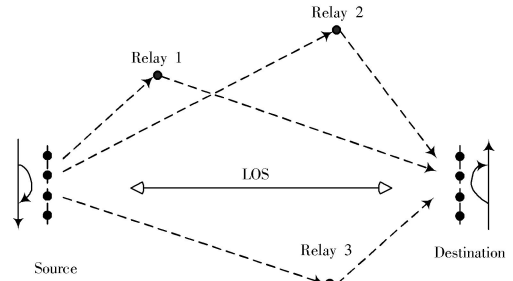


图2 MIMO中继系统RS布置示意图

#### (2)个体评价

根据信道容量公式(1)计算,可得到群体 $P(t)$ 中各个个体的适应度。

#### (3)选择运算

根据各个个体的适应度,按照相应的规则和方法,在第 $t$ 代群体 $P(t)$ 中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体 $P(t+1)$ 中。本文采用的原则是:个体被选中并遗传到下一代群体中的概率与该个体的适应度大小成正比。若群体的规模为 $N$ ,个体 $i$ 的适应度为 $F_i$ ,则个体 $i$ 被选中的概率为:

$$P_{is} = F_i / \sum_{i=1}^N F_i \quad (2)$$

#### (4)交叉运算

将群体 $P(t)$ 内的各个个体两两搭配成对,对每一对个体,以一定的概率(称为交叉概率)交换它们之间的部分染色体,从而形成两个新个体。通过交叉运算产生新的个体是遗传算法的核心。

#### (5)变异运算

对群体 $P(t)$ 中的每个个体,以一定的概率(称为变异概率)改变某一个或某一些基因座上的基因值为其他的等位基因。群体 $P(t)$ 经过选择、交叉、变异运算之后得到下一代群体 $P(t+1)$ 。

#### (6)循环终止判断

遗传算法的循环终止条件一直没有统一的标准,只要能算法呈现收敛特性的终止条件都是合理的。本文采用的终止条件是:到达最大设置进化代数后停止繁衍。

### 2.2 角域遗传算法的应用

根据遗传算法的特点,优化个体的搜索范围能快速提高遗传算法的收敛速度,并且不易产生伪极值。本文通过对角域模型<sup>[10]</sup>分析来限制粒子群的搜索范围。

设发送天线阵列形成相应发送波束,各个波束的主

中心角余弦为:

$$\Omega_l = l/L_t \quad (3)$$

式中:  $l=0,1,\dots,n_t-1$ ,  $n_t$ 为发送端天线数目; $1/L_t$ 为其宽度;同样接收天线阵列形成相应接收波束,各个波束的主中心角余弦为:

$$\Omega_r = l/L_r \quad (4)$$

式中:  $l=0,1,\dots,n_r-1$ ,  $n_r$ 为接收端天线数目, $1/L_r$ 为其宽度。RS有效的布置点应同时覆盖发送波束和接收波束的信号,由此可知,发送端与接收端之间的所有空间并非都是RS有效的布置点,而是只有那些位于发送波束和接收波束叠加的空间才是RS有效的布置点,如图3阴影部分所示。因此,发送波束与接收波束共同的传播空间即为粒子群有效的搜索子集,至此遗传算法的搜索范围大幅度减少。

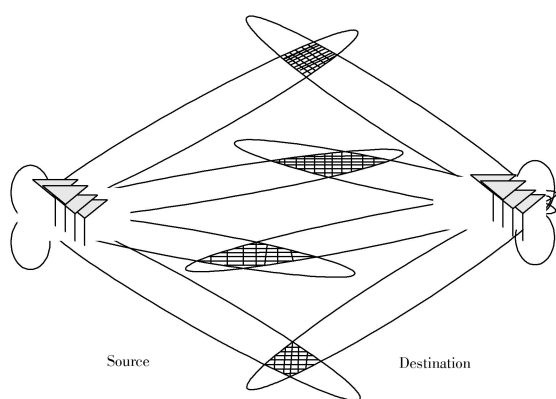


图3 RS有效布置范围

### 3 仿真分析

以 $4 \times 4$  MIMO中继系统为例,对采用角域分析前后遗传算法进行仿真比较,仿真结果如图4所示。

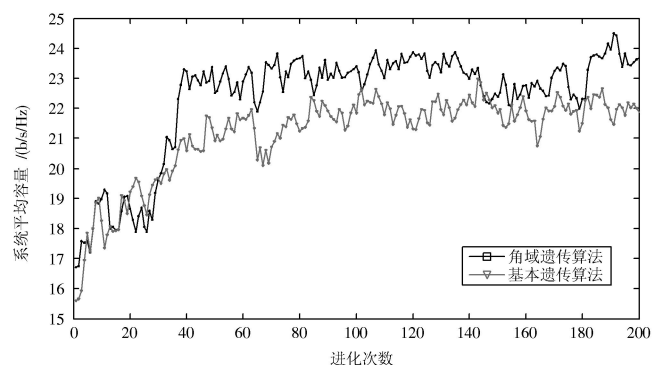


图4 应用角域分析前后平均容量对比

通过图4中的对比可知,角域遗传算法较快达到收敛,并且系统平均容量较高,这是因为角域遗传算法利用了MIMO系统信号传播的物理特性,加入了群体约束条件,大大地缩小了群体搜索的范围,避免了算法在全局搜索时产生“伪极值”。

### 4 结语

在低秩视距环境下RS位置选择应用中,针对传统遗传算法存在的缺点,本文采用角域遗传算法,减少了算法搜索范围,降低了算法的随机性,加快了遗传算法的收敛速度,减少了伪极值的产生,提高了中继系统的性能。

### 参考文献

- [1] GOLDSMITH A, JAFAR S A, JINDAL N, et al. Capacity limits of MIMO channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2003, 21(5): 684-702.
- [2] 刘志兵,林基明,曹慧.利用QR分解法提高多用户MIMO中继容量[J].电视技术,2010(8):96-99.
- [3] 李勇,张翔,彭木根,等.瑞利双向中继信道的功率分配及中继位置选择[J].北京邮电大学学报,2012,35(2):94-98.
- [4] 李冬,史浩山,程伟.一种AF-MIMO中继系统中的混合协作方案[J].西安电子科技大学学报:自然科学版,2012,39(2):35-39.
- [5] GOLDBERG D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning [M]. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.
- [6] SARRIS I, NIX A. Design and performance assessment of high-capacity MIMO architectures in the presence of a line-of-sight component [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(4): 2194-2202.
- [7] TSE David, VISWANATH Pramod. Fundamental of wireless communications [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [8] HOST-MADSEN A, ZHANG J. Capacity bounds and power allocation for wireless relay channel [J]. IEEE Trans. on Inf. Theory, 2005, 51(6): 2020-2040.
- [9] ZHAO Y, HUANG L, CHI T Y, et al. Capacity analysis for multiple-input multiple-output relay system in a low-rank line-of-sight environment [J]. IET Communications, 2012, 6(6): 668-675.
- [10] 关驰,蔡光卉,常俊.基于SLNR准则的MU-MIMO下行链路的预编码与用户调度[J].现代电子技术,2012,35(7):61-63.

作者简介:陈春超 男,1985年出生,福建厦门人,在读硕士研究生。主要研究方向为无线通信。

赵毅峰 男,1980年出生,福建厦门人,助理教授,在读博士研究生。主要研究方向为无线通信。

黄联芬 女,1963年出生,福建厦门人,副教授,博士。主要研究方向为无线通信。