

## 超宽带粒子群多路径选择算法\*

刘青青,高宏峰

(河南科技大学 电信学院,河南 洛阳 471003)

**摘要:** 在多用户超宽带通信系统中,多路径的选择严重影响系统的信干噪比(SINR)。针对这一问题,提出了基于离散粒子群的多路径选择算法(SMCA-DPSO)。该算法将DPSO应用于UWB系统SRAKE多路径选择问题中,从而达到加快收敛速度,提高寻优效果的目的。最后与传统算法、放宽约束算法、遗传算法等进行了比较,结果表明,SMCA-DPSO在SINR、收敛速度、寻优效果等方面都有显著提高。

**关键词:** 超宽带;离散粒子群;多路径选择

中图分类号: TN91

文献标识码: A

## A multipath components algorithm in UWB system based on DPSO

LIU Qing Qing, GAO Hong Feng

(Electronic Information Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** In the multiple-access ultra wide band wireless communication system, the selection of multipath affects the signal to interference and noise ratio of the system severely. To solve this problem, a multipath components algorithm based on DPSO (SMCA-DPSO) was proposed, which used the discrete particle swarm optimization in SRAKE receiver to accelerate the convergence speed and increase the effect of optimization. Then, comparisons were provided with the conventional algorithm, the relaxations of optimal finger selection algorithm, genetic algorithms. Experimental results show that SMCA-DPSO is bigger in SINR, faster in the velocity of convergence, better in the effect of looking for excellence and in other aspects.

**Key words:** ultra wide band(UWB); discrete particle swarm optimization(DPSO); the selection of multipath components

超宽带系统是一种具有很大带宽的近距离高速无线通信系统,它的一个重要应用是室内短距离无线通信。在这种通信方式中,信道时延扩展很大,根据IEEE 802.15.3a推荐的信道模型<sup>[1]</sup>,信道最大时延扩展达上百纳秒(ns),且存在大量分量。在直接序列扩频超宽带(DS-UWB)<sup>[2]</sup>系统研究中,RAKE接收机由于具有较好的多径能量收集等特点而备受关注。但若将超宽带多径信号全部接收,必然给系统造成一定的负担,在实际工程中难以实现。于是便考虑从 $L$ 个路径信号中选出 $M$ 个最优信号,从而使系统的信干噪比SINR(Signal Interference Noise Ratio)达到条件下的最大。

目前对于多路径选择算法SRAKE,国内外都已有研究,如传统算法、各种放宽约束算法、遗传算法等。但

传统算法忽略了路径之间的相关噪声,并没有达到最大化系统SINR的目的;各种放宽约束算法是在假设多用户干扰(MAI)远小于热噪声的情况下,将非线性的约束条件近似为球体或者立方体,但中间的运算量非常之大,影响了系统的整体速度<sup>[3]</sup>;遗传算法是一个智能化的算法,但它要分为三步(配对、交叉、变异),且其中的参数需要调整;粒子群优化算法同遗传算法类似,是一种基于迭代的优化工具,它以系统信干噪比为目标函数,考虑到了所选路径间的相互干扰,同时也没有许多参数需要调整。所以本文利用粒子群算法简单容易、收敛速度快、寻优效果好、参数无需调整的特点,将其应用于SRAKE接收机的路径选择中,并取得了较好效果。

## 1 超宽带系统模型

IEEE 802.15.3a推荐的UWB信道模型可以表示如下:

\* 基金项目:河南科技大学基金资助项目(2007ZY013)

$$h(t) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \partial_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (1)$$

式中,  $X$  是对数正态随机变量, 代表信道的幅度增益;  $N$  是观测到的簇的数目;  $K(n)$  是第  $n$  簇内接收到的多径数目;  $\partial_{nk}$  是第  $n$  簇中第  $k$  条路径的系数;  $T_n$  是第  $n$  簇到达时间;  $\tau_{nk}$  是第  $n$  簇中第  $k$  条路径的时延。

对于一个有  $S_{mui}$  个用户的系统, 第  $K$  个用户的 DS-UWB 接收信号可以表示为:

$$r(t) = s(t) \times h(t) + n(t) \\ = \sum_{m=1}^{S_{mui}} \sqrt{E_{RX}} \sum_j \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \partial_{nk} a_j p_0(t - jT_s - \tau_{nk}) + n(t) \quad (2)$$

式中,  $\sqrt{E_{RX}}$  是一个发射脉冲的总接收能量;  $a_j$  是第  $j$  个发射脉冲的幅度;  $T_s$  是平均脉冲重复周期。

根据(2)式可知, 只有当同一个脉冲的 2 个多径分量的到达时间小于脉冲持续时间  $T_M$  时, 不同的分量在接收机才会发生重叠, 引起 ISI 干扰。在 IR-UWB 系统中,  $T_M$  值是 ns 级的, 甚至不足 ns, 因此可以假设所有的多径分量都不重叠, 接收到的波形由相互独立的分量组成。

经过信道得到的接收信号分为多径到达, 对于第  $i$  个 bit 的第  $l$  径的信号, 其可以表示为:

$$r_{l,j} = S_{l,j}^T A b_i + n_{l,j} \quad (3)$$

式中,  $l = l_1, \dots, l_M, j = iNf, \dots, (i+1)Nf+1, A = \text{diag}\{\sqrt{E_1/Nf}, \dots, \sqrt{E_{S_{mui}}/Nf}\}, n_{l,j} \sim N(0, \sigma_n^2), S_{l,j} = S_{l,j}^{(SP)} + S_{l,j}^{(MAI)}$

为了简化分析, 假设  $Nf=1$ , 由参考文献[3]可知, 下面分析对于  $Nf>1$  同样适用。第  $l$  条路径信号可以表示为:

$$r_l = S_l^T A b_i + n_l \quad (4)$$

对于 SRAKE 接收机, 需要从  $L$  条路径中选取  $M$  条路径, 使 SINR 达到最大。

假定只考察用户 1 的接收信号, 则整个系统的 SINR 可表示为:

$$\text{SINR}(X) = \frac{E}{\sigma_n} (\partial^{(1)})^T X^T \left( I + \frac{1}{\sigma_n} X S^{(MAI)} A^2 (S^{(MAI)})^{-1} X \partial^{(1)} \right) \quad (5)$$

式中,  $x = [x_1, \dots, x_L]^T = \text{diag}\{X^T X\}$  相当于从  $L$  中选取  $M$  条支路, 则路径选择的问题就转化为一个最优化问题, 即 Maximize(SINR)。

## 2 DPSO 算法简介

PSO 算法是 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的一种群体智能算法, 源于对鸟群觅食行为的研究, 是一类随机全局优化技术。PSO 初始化为一群随机粒子 (随机解), 每个粒子根据其自身以及群体经验, 在问题空间中向更好的位置“飞行”。粒子本身在飞行过程所经历过的最好位置称为个体最优值 (pBest), 整个群体目前所经历过的最好位置称为全局最优值 (gBest)。粒子状态用  $D$  维速度  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$  和位置  $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$  表示。为了利用 PSO 算法求解离散组合问题, 可以将离散问题空

间映射到连续粒子运动空间, 并适当修改 PSO 算法来求解, 在计算时仍保留经典粒子群算法速度-位置更新中的运算规则。则 DPSO 中每个粒子根据公式(6)和公式(7)来更新自己的状态, 从而产生新一代群体<sup>[4]</sup>。

$$v_i^{k+1} = -\partial_1 x_i^k + \partial_2 p_{is}^k + \partial_3 p_g^k \quad (6)$$

$$x_{id}^{k+1} = \begin{cases} 1, & \rho_{id}^{k+1} < v_{id}^{k+1} \\ -1, & \rho_{id}^{k+1} \geq v_{id}^{k+1} \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $\rho_{id}^k \in [-1, 1]$  是随机产生的,  $k$  为迭代次数, 这里速度矢量作为判别阈值矢量, 仅由上一代的  $x_i^k, p_{is}^k, p_g^k$  决定,  $\partial_1 + \partial_2 + \partial_3 = 1$ , 确保了阈值  $v_{id}^{k+1} \in [-1, 1]$ ,  $x_{id}^{k+1}$  是由参数  $v_{id}^{k+1}$  决定的一个概率选择阈值,  $v_{id}^{k+1}$  的大小决定了  $x_{id}^{k+1}$  趋向于判决选择为 -1 还是 +1。设计参数  $\partial_1$  为惰性系数, 表示相信自己的程度,  $\partial_2$  为社会学习系数, 表示相信经验的程度,  $\partial_3$  为认知系数, 表示相信周围个体的程度。

## 3 粒子群多路径选择算法

DPSO 算法在任务分配等多目标组合优化应用中性能已经得到验证<sup>[5]</sup>, 从参考文献[6]中可以得到启示, 并考虑将其应用于多路径选择问题中。从式(5)可以看出, SINR 大小取决于信道冲激响应幅度的大小, 而式中起作用的多径信号是  $X$  选出的  $M$  条路径, 其多路径选择算法也就是选取最优的  $M$  条路径, 使 SINR 最大。

基于粒子群的路径选择算法, 其思想为: IEEE 802.15.3a 推荐的信道将会产生大量的多径信号, 统计出其幅值不为零的信号 (一共有  $L$  条) 作为选择的空, 从  $L$  条路径里随机抽取  $M$  条进行组合, 每个组合即为一个粒子 ( $M$  维), 选取最优的一个粒子使目标函数 SINR 到达最大。这就相当于从  $L$  里抽取  $M$  条路径随机组合, 求取最优的一个组合。实验步骤如下:

(1) 从信道冲激响应的  $L$  条支路随机抽取  $M$  条随机组合, 每个组合为一个粒子。

(2) 随机初始化每个粒子的位置矢量和速度矢量, 并把粒子当前位置作为粒子的个体极值点, 在整个种群中找出全局极值点。

(3) 根据 SINR 计算每个粒子的适应值。

(4) 将每个粒子的适应值与其个体极值点的适应值进行比较, 若当前的较好, 则该位置成为新的个体极值点。

(5) 对每个粒子, 将其适应值与全局极值点的适应值比较, 若当前的较好, 该粒子的位置就是新的全局极值点。

(6) 根据位置-速度公式更新粒子群的速度。

(7) 如果达到规定的迭代次数, 则终止迭代, 否则返回步骤(3)。

## 4 仿真结果及分析

为了验证算法的有效性, 本节利用 Matlab 对不同条件下的 IR-UWB 系统做了相应的仿真分析。假设发射机

网络与通信 Network and Communication

与接收机间距为 2 m, 且为 LOS 环境, 其中参考衰减  $A_0 = -47$  dB, 衰减指数  $\gamma = 1.7$ , 并利用参数  $rdt$  限制每簇内多径分量的产生, 然后仿真求取系统的平均 SINR, 仿真结果如图 1 所示。

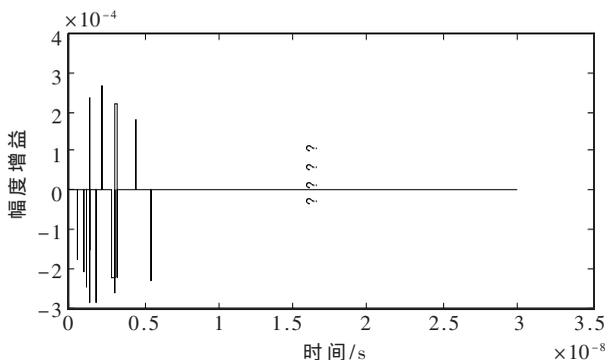


图 1 ARAKE 信道估值 ( $L=15$ )

图 2 对具有 5 个等能量用户 ( $S_{mui}=5$ ),  $L=15$ ,  $M=5$ ,  $N_f=1$ ,  $rdt=0.64$  的 IR-UWB 系统初步验证了 SMCA-DPSO 的有效性, 由图 2 可以看出, SMCA-DPSO 可以将全路径中能量较大的 3、4、6、7、9 路信号抽取出来。

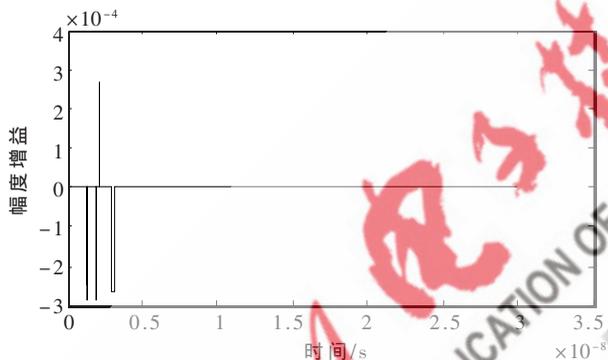


图 2 基于 DPSO 的 SRAKE 信道估值 ( $M=5$ )

图 3 在不同的噪声能量下 ( $SNR=[10, 15, 20, 25, 30]$ ), 对 SMCA-DPSO、传统以及各放宽约束路径选择算法的平均 SINR 做出了比较, 其中, SMCA-DPSO 迭代次数为 10, 其他条件如图 3 所示。从图上可以看出, 在  $SNR=25$  dB 时, SMCA-DPSO 与 GA 的 SINR 持平, 但在  $SNR < 25$  dB 时, SMCA-DPSO 性能明显优于 GA 或其他算法, 且 SNR 越小, 其优越性越明显, 这表明 SMCA-DPSO 在低信噪比情况下其性能优于其他算法。

针对从  $L=50$  条路径中选择不同的路径数  $M$  ( $M=5, 10, 15, 20$ ), 图 4 将 SMCA-DPSO 与传统算法以及各放宽约束算法进行了性能比较, 并画出其各自的平均 SINR 性能曲线, 其中  $rdt=0.15$ ,  $SNR=20$  dB, 其他参数如图 4。从图中可以看出, 在  $M=20$  时, 球体约束法达到最大 18.7 dB 左右, 但其计算量太大难以实现, SMCA-DPSO 稍低于球体约束法, 与 GA (Genetic Algorithms) 持平, 但其在  $M < 20$  时性能明显优于 GA, 可以达到条件下的最优。

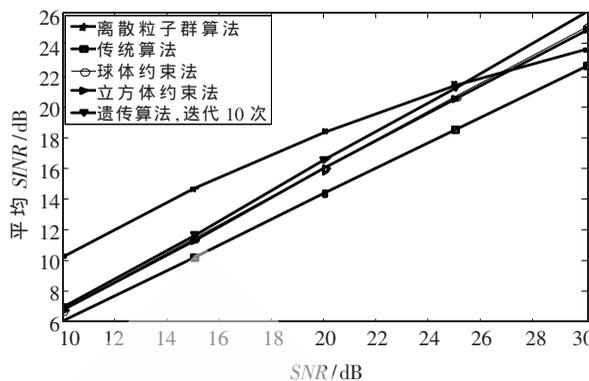


图 3  $S_{mui}=5, L=15, M=5, SNR=[10, 15, 20, 25, 30]$  时, 各种路径选择算法性能比较

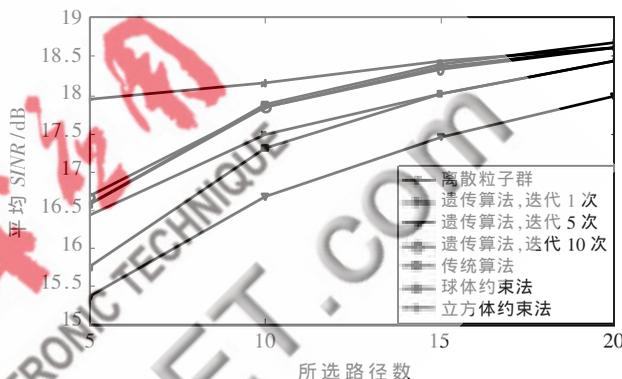


图 4  $S_{mui}=5, SNR=20$  dB,  $L=50, M=[5, 10, 15, 20]$  时, 各种路径选择算法性能比较

最后, 考虑到用户数目增加即多用户干扰增大的情况, 图 5 针对不同路径数, 对各种算法的平均 SINR 性能进行了仿真比较。其中,  $S_{mui}=10$ , 其他条件如图 5。从图 5 可以看出, SMCA-DPSO 的性能整体上优于其他算法, 与图 4 比较可知, 当用户数增多时, SMCA-DPSO 的 SINR 下降幅度比 GA 约少 0.8 dB, 具有较好的抗多用户干扰的性能。

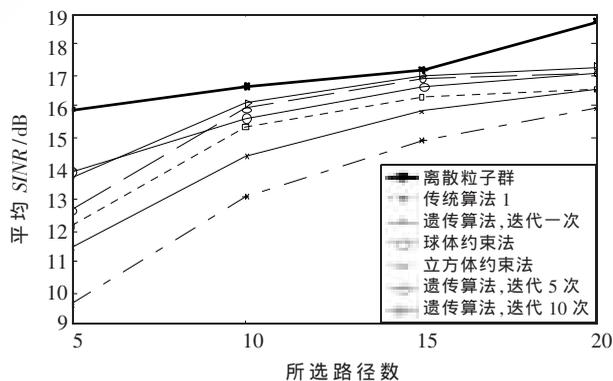


图 5  $S_{mui}=10, SNR=20$  dB,  $L=50, M=[5, 10, 15, 20]$  时, 各路径选择算法性能比较

本文针对 RAKE 接收机在密集多径信道中的路径选择问题, 提出了基于 DPSO 的多路径选择算法, 对 (下转第 48 页)

## 网络与通信 Network and Communication

的利用率有所降低,降低了1~2个百分点。由此可以看出,XCP协议对在拥塞情况下提高链路利用率达到了很好的效果,能充分地利用链路带宽,同时达到稳定的带宽利用率的时间也很快。

由图5可以看出在第5s之前,没有发生拥塞,缓冲队列值为0;第5s时,第2个流开始发送数据,主干链路发生拥塞,队列值有所增加;第10s开始随着拥塞的变大缓冲队列值又有所增大;缓冲队列值随着拥塞

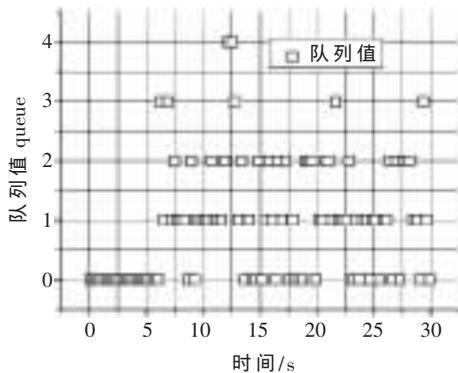


图5 平均队列图

的加剧逐渐增大,但增加的值不大,说明XCP协议可以保持很小的排队队列值,这样相应的排队时延值也会很小。

本文在ns2下面对XCP协议的公平性和稳定性做了相

应的仿真分析。仿真结果表明,高带宽时延乘积网络中XCP协议不仅能够保持链路的公平性和稳定性,而且还能达到链路的高利用率,同时,路由器的平均队列值保持得很小。

## 参考文献

- [1] FLOYD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(4):397-416
- [2] ATHURALIYA S, LI V H, LOW S H, et al. Rem: Active queue management [J]. IEEE Network, 2001, 15(3):48-53.
- [3] HOLLOT C, MISRA V, TOWSLEY D, et al. On designing improved controllers for aqm routers supporting tcp flows [J]. In Proc. of IEEE INFOCOM, Apr. 2001.
- [4] KUNNIYUR S, SRIKANT R. Analysis and design of an adaptive virtual queue [J]. In Proc. Of ACM SIGCOMM, 2001.
- [5] KATABI D. Congestion control for high bandwidth-delay products networks [EB/OL]. In: Proc. ACM SigComm'02, Aug. 2002.

(收稿日期:2009-06-05)

(上接第42页)

以传输4KB数据为例,由表2可知,使用FIFO时,发送和接收分别节省0.547076s和0.042832s时间。假定传输1bit的数据用时为 $\theta$ s,传输数据量为 $n$ ,则可知使用FIFO和不使用FIFO两种情况下的用时差为 $15n\theta/16s$ 。由此可见,当传输数据量 $n$ 越大时,采用FIFO的串口传输模式的用时越少、优越性越明显。这也显示了FIFO在串口传输较大数据量的工程应用中的重要性 and 必要性。

在串口通信应用越来越广的背景下,提高串口通信速度显得尤为重要。本文以S3C44B0X微处理器为平台,介绍的基于FIFO的串口双机通信的原理和实现方法,该方法同时也适用于其他配置FIFO缓冲区的微处理器,具有很强的适用性和通用性,在学习、研究的同时,也为工程应用中的串口通信提供了参考模型。

(上接第45页)

UWB通信系统的性能进行分析,并与传统算法,以及各种放宽约束算法进行了比较。实验表明,基于DPSO的多路径选择算法在低信噪比情况下具有更好的择优性能,其抗多用户干扰的能力也优于其他同类算法。

## 参考文献

- [1] CABRIELLA M, BENEDETTO D, GIANCOLA G. 超宽带无线电基础[M].葛利嘉,朱林,袁晓芳,等译.北京:电子工业出版社,2006.
- [2] LEE C, CHO D, YOU Y, et al. A solution to improvement of DS-UWB system in the wireless home entertainment network [J]. IEEE Transactions on Consumer

## 参考文献

- [1] 田泽.嵌入式系统开发与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] Samsung. S3C44B0X datasheet [EB/OL]. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/84253/SAMSUNG/S3C44-B0X.html>, 2003.
- [3] 马忠梅,英惠.ARM嵌入式处理器结构与应用基础(第2版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [4] 严蔚敏,吴伟民.数据结构:C语言版[M].北京:清华大学出版社,1996.
- [5] 胥静.嵌入式系统设计与开发实例详解:基于ARM的应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [6] 王宇行.ARM程序分析与设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.

(收稿日期:2009-05-12)

Electronics, 2005, 51(2):529-533.

- [3] GEZICI S. Design and analysis of impulse radio ultra wide-band receivers for communications and geolocation [D]. Dissertation Abstracts International, 2006, 67(2).
- [4] 杨红孺,高洪元,庞伟正,等.基于离散粒子群优化算法的多用户检测器[J].哈尔滨工业大学学报,2005, 37(9): 1303-1306.
- [5] 李俊,郝成民,刘湘伟.改进PSO算法在雷达干扰任务分配中的应用[J].计算机仿真,2008, 25(12): 27-30.
- [6] 徐珍霞,顾洁.离散粒子群优化算法在变电站选址中的应用[J].电气应用,2006, 25(4): 35-38.

(收稿日期:2009-06-08)