

文章编号 1004-924X(2009)09-2236-05

# DSP 并行系统的并行粒子群优化目标跟踪

许廷发<sup>1</sup>, 赵思宏<sup>2</sup>, 周生兵<sup>3</sup>, 倪国强<sup>1</sup>

(1. 北京理工大学 光电学院, 北京 100081;

2. 空军航空大学, 吉林 长春 130022; 3. AMD 公司研发部, 北京 100086)

**摘要:**针对串行粒子群优化(Particle Swarm Optimizer, PSO)算法存在计算量大、速度慢的问题,给出了一种基于数字信号处理(DSP)并行系统的并行 PSO 跟踪算法。在研制的 4DSP 并行系统上,采用基于消息传递模型及单种群的 Master-Slave 模式设计实现了并行 PSO 跟踪算法。用 DSP-A 实现初始化设置,其它 3 个 DSP 并行计算每个粒子的适应值。最后,由 DSP-A 比较每个粒子的适应值与其个体极值的优劣,选择较好的个体极值和整个种群的最优解,更新每个粒子的位置与速度。利用该系统采集实际序列图像进行了算法仿真验证,其加速比为 2.525,效率为 63.13%,该算法为全局优化大规模目标跟踪工程的实现提供了一个新的选择。

**关键词:**目标跟踪;并行粒子群优化算法;数字信号处理(DSP);并行系统

**中图分类号:**TP301.6 **文献标识码:**A

## Particle swarm optimizer tracking based on DSP parallel system

XU Ting-fa<sup>1</sup>, ZHAO Si-hong<sup>2</sup>, ZHOU Sheng-bing<sup>3</sup>, NI Guo-qiang<sup>1</sup>

(1. School of Optoelectronics, Beijing Institute of

Technology, Beijing 100081, China; 2. Aviation University of Airforce, Changchun 130022, China;

3. Department study, AMD Company, Beijing 100086, China)

**Abstract:** For the problem of a large amount and slow speed in the serial Particle Swarm Optimization(PSO) algorithm, a parallel PSO tracking algorithm based on Digital Signal Processing(DSP) parallel system is proposed. In the development of the four DSP parallel systems, a parallel PSO tracking algorithm is designed using the message passing model and the Master—Slave mode of a single species. The initial setting is realized by DSP-A, while DSP-B, DSP-C and DSP-D are used to calculate the fitness of each particle in parallel. Finally, the fitness of each particle and the pros and cons of individual extreme are compared by DSP-A, and then a better individual extreme and an optimal solution of the entire population are chosen to update the position and velocity of each particle. Comparing with the serial PSO algorithm, the speedup ratio and efficiency of the simulation algorithm based on the actual sequence of image are 2.525 and 63.13%, respectively. The method supplies a new option to implement a large-scale global optimization target tracking project. .

**Key words:** target tracking; parallel Particle Swarm Optimizer(PSO) algorithms; Digital Signal Processing(DSP); parallel system

收稿日期:2008-09-02;修订日期:2008-10-23.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60972100;No. 60672082);教育部“长江学者和创新团队发展计划”资助项目(No. IRT0606)

## 1 引言

随着科学技术的不断进步,目标跟踪技术在高技术武器方面得到了广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。一个鲁棒性好的目标跟踪系统包括两部分:(1)对目标特征的可靠表示;(2)对环境变换具有鲁棒性的快速目标定位。但是,许多跟踪算法都存在两个方面的问题:(1)在背景复杂或者被相似目标遮挡时容易出现目标误匹配;(2)计算量大,实时运行困难。

粒子群优化(PSO)算法是由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士于 1995 提出的<sup>[4]</sup>一种进化计算技术(Evolutionary Computation),已广泛应用于科学和工程领域,如:神经网络训练<sup>[5]</sup>、系统辨识<sup>[6]</sup>、多目标跟踪<sup>[7]</sup>等。PSO 算法同遗传算法类似,是一种基于迭代的优化工具。系统初始化为一组随机解,通过粒子在解空间追随最优的粒子搜索最优值。PSO 算法简单易实现,但易陷入局部极小值点。一些改进的 PSO 跟踪算法仍存在着比较复杂、不便使用等缺点<sup>[8]</sup>。同时,由于优化问题的复杂性,需要很长的计算时间,在单个 CPU 上运行串行的 PSO 算法,甚至有时无法得到满意的结果。

本文针对这些问题,研制了基于 4 颗 TI 公司 TMS320C6416 设计的并行处理系统。利用其自身提供的 CCS 开发环境,设计实现了并行 PSO 跟踪算法,通过仿真实验可以得出,并行 PSO 跟踪算法不仅能提高求解的速度和求解的质量,而且得到了较满意的加速比。

## 2 DSP 并行系统

根据实际工程的需求,设计了一种基于 4 颗 TMS320C6416 的并行系统平台,原理结构框图如图 1 所示。前端 16-bit 的 LVDS 电平图像数据经电平转换后,在控制信号下,经由 CPLD 进行时序转换后写入前端缓冲 FIFO,这一速度可达 266 MBytes/s。在 DSP-A 的 DMA 控制器作用下,前端数据缓冲 FIFO 中的数据被不断地转移到同步 4 口 SRAM 中,然后各个 DSP 分别或者同时读取要处理的数据。因为前端 FIFO 和同步 4 口 SRAM 都挂接在 DSP-A 的 B 口总线上,因此数据分配过程不会打扰到 DSP-A 本身算法的

执行,甚至不会干扰到 DSP-A 对其外接的 SDRAM 存储器的读写操作。

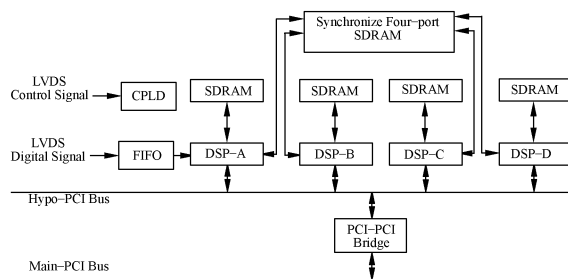
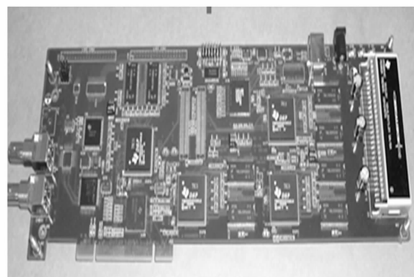


图 1 4×DSP 并行系统框图

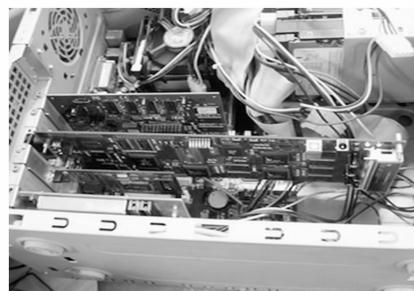
Fig. 1 4×DSP parallel system

各个 DSP 协同完成整个 PSO 并行算法,过程中间的通信和数据交换通过同步 4 口 SRAM 完成;相互之间的握手则通过连到 CPLD 上的各个 DSP 的中断、通用 I/O 管脚来实现。4×DSP 通过自带的 PCI 口挂接在一个 PCI-to-PCI 桥的次侧 PCI 总线上,整个系统以标准 PCI 长卡形式插在计算机上。



(a) 4DSP 板图

(a) 4DSP board



(b) 实验系统

(b) Experiment system

图 2 设计的 4DSP 板图和实验系统  
Fig. 2 4DSP board and experiment system

初始化时,计算机通过 PCI 总线将各个 DSP 的程序分别下载到各自的代码空间和数据空间;处理完成后,再不断地通过 PCI 总线将处理的结果分别读出。设计的 4DSP 板图和实验系统图分别如图 2(a)和 2(b)所示。

### 3 基于并行 DSP 系统的并行 PSO 跟踪算法

#### 3.1 传统的串行 PSO 算法

假设在一个  $n$  维的目标搜索空间中,有  $m$  个粒子组成一个种群,其中第  $i$  个粒子表示为一个  $n$  维的空间向量  $\mathbf{x}_k^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ ,其中  $i=1, 2, 3, \dots, m$ ,即第  $i$  个粒子在  $n$  维搜索空间中的位置是  $\mathbf{x}_k^i$ 。每个粒子的位置就是一个潜在的解。将  $\mathbf{x}_k^i$  代入一个目标函数  $f(x_i)$  可以计算出其适应值  $f_k^i$ ,根据适应值  $f_k^i$  的大小衡量  $\mathbf{x}_k^i$  的优劣。第  $i$  个粒子的“飞翔”速度也是一个  $n$  维的向量,记为  $\mathbf{v}_k^i = (v_1^i, v_2^i, \dots, v_n^i)$ ,第  $i$  个粒子目前搜索到的最优位置为  $\mathbf{p}_k^i = (p_1^i, p_2^i, \dots, p_n^i)$ ,整个粒子群目前搜索到的最优位置为  $\mathbf{p}_k^g = (p_1^g, p_2^g, \dots, p_n^g)$ 。

串行的 PSO 算法采用下列公式对粒子进行操作:

$$\mathbf{v}_{k+1}^i = \omega_k \mathbf{v}_k^i + c_1 r_1 (\mathbf{p}_k^i - \mathbf{x}_k^i) + c_2 r_2 (\mathbf{p}_k^g - \mathbf{x}_k^i), \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_{k+1}^i = \mathbf{x}_k^i + \mathbf{v}_{k+1}^i, \quad (2)$$

其中  $\omega_k$  称为惯性因子,为非负数。 $c_1$  和  $c_2$  称为学习因子,通常为 2。 $r_1$  和  $r_2$  是  $[0, 1]$  内的随机数。迭代的中止条件根据具体问题一般选为最大迭代次数或粒子群目前位置搜索到的最优位置满足预定最小适应阈值。

#### 3.2 并行 PSO 跟踪算法

消息传递并行性的开发也有两种形式<sup>[9]</sup>:一种是域分解形式,即将一个大的问题区域分解成若干个较小的问题区域,然后对其并行求解;另一种是功能分解形式,即将一个大的问题分解成若干个子问题,然后对其并行求解。相应于这两种形式,编程模式为 SPMD(单程序多数据流)和 MPMD(多程序多数据流)。而 SPMD 形式的程序有两种模型:Master-Slave 模型和对等模型。

根据研制的 DSP 并行系统,本文算法采用基于消息传递模型及单种群的 Master-Slave 模式

设计实现并行 PSO 算法,并行性主要体现在适应值函数的计算上,其它操作和算子与串行进化算法相同。算法主要步骤如下:

(1)把 DSP-A 定义为主进程,其它 3 个 DSP 为从进程;

(2)在主进程 DSP-A 中,初始化设置包括粒子数  $m$ 、惯性权重  $\omega$ 、学习因子  $c_1$  和  $c_2$  的值以及所有粒子的初始位置  $\mathbf{x}_k^i$  和速度  $\mathbf{v}_k^i$ ;

(3)由主进程 DSP-A 为从进程发送每个粒子的位置  $\mathbf{x}_k^i$ ,各个从进程 DSP-B、DSP-C、DSP-D 并行计算每个粒子的适应值  $f_k^i$ 。

(4)从进程 DSP-B、DSP-C、DSP-D 将每个粒子的适应值返回主进程 DSP-A,主进程 DSP-A 比较每个粒子的适应值  $f_k^i$  与其个体极值  $f_{k, \text{best}}^i$  的优劣,选择较好的个体极值,并通过比较选择整个种群的最优解,然后更新每个粒子的位置与速度。

在 DSP 并行计算环境中,各进程之间的消息传递为最主要的瓶颈问题。为了保证各个计算进程之间的通信,应该采用较小粒度的适应值的计算任务。并行的 PSO 的算法采用并列的计算进程,通常在各个计算进程之间不需要进行消息的传递,需要进行消息传递的情况通常有以下几种:

(1)适应值的传递:适应值由从进程传回主进程。

(2)同步信号的传递:为了保持进程的同步,设置的同步信号在主从进程之间的传递。

(3)终止信号的传递:程序结束时,主进程将终止信号传递给各个从进程,从而彻底终止程序运行。

### 4 仿真结果与讨论

本文在设计并行系统和实验室跟踪平台上完成了粒子群优化算法的并行测试。该系统的硬件系统为 4DSP 硬件系统;软件系统开发及支持环境为 CCS3.1。实验中,选取  $\omega_{\text{initial}} = 0.9$ ,  $\omega_{\text{final}} = 0.4$ ,  $c_1 = c_2 = 2$ ,粒子数  $m = 15$ ,随机初始化粒子的位置  $\mathbf{x}_0^i$ ,其中  $i=1, 2, \dots, m$ ,随机初始化粒子的速度  $\mathbf{v}_0^i$ ,其中  $i=1, 2, \dots, m, 0 \leq v_0^i \leq v_0^{\text{max}}$ 。

利用采集和跟踪处理图像序列作为并行算法的测试图像(图像大小 512 pixel × 512 pixel)。在设计并行系统上对并行 PSO 跟踪算法进行了测试。图 3 给出了部分跟踪结果。



10 frame



30 frame



45 frame

图3 并行 PSO 算法的跟踪结果

Fig. 3 Tracking result of parallel PSO algorithms

为了评价并行 PSO 跟踪算法的性能,采用加速比进行了算法性能的评价。加速比指对某个特定的应用,使用并行算法的执行与串行算法的执行速度的比值。并行系统的效率则指加速比和处理器个数之比。根据 Amdahal 定律<sup>[10]</sup>,假设问题的固定工作负载为  $W$ ,其中必须顺序执行的百分比为  $\alpha$ ,不计所有开销时,加速比  $S$  为:

$$S = \frac{W}{\alpha W + (1-\alpha)(W/n)} = \frac{n}{1+(n-1)\alpha}, \quad (3)$$

式中,  $n$  为处理器个数。

## 参考文献:

- [1] 孟勃,朱明. 粒子滤波算法在非线性目标跟踪系统中的应用[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1421-1426.

由上式可见,当  $n \rightarrow \infty$  时,  $S \rightarrow 1/\alpha$ , 即加速比会随着处理器数目的增加而提高,但是存在极限,而且这一极限是由问题本身所决定的。事实上,随着处理器数目的增加,额外开销会越来越大。设额外开销为  $W_0$ ,则(3)式应修改为:

$$S = \frac{W}{\alpha W + (1-\alpha)(W/n) + W_0} = \frac{n}{1+(n-1)\alpha + nW/W_0} \quad (4)$$

当  $n \rightarrow \infty$  时,  $S \rightarrow 1/(\alpha + W/W_0)$ , 额外开销使得加速比的增加进一步降低了。

表 1 是串行 PSO 算法和并行 PSO 算法在系统上运行时所得到的结果比较,其比较前提如下:原始图像大小为 512 pixel × 512 pixel,每个像素占 1 Byte。

表 1 加速比测试

Tab. 1 Accelerated rate testing

Tracking algorithms	Run time/ms
Serial PSO(single processor)	182.235
Parallel PSO(Parallel system)	72.162
Accelerated rate	2.525
Efficiency (Accelerated rate /4) × 100%	63.13%

## 5 结 论

本文采用并行的 DSP 系统,利用 CCS 环境,设计实现了并行 PSO 跟踪算法。利用系统采集实际序列图像进行了算法仿真验证,加速比为 2.525,效率为 63.13%。实验结果表明并行 PSO 跟踪算法不仅能提高求解的速度和求解的质量,还能得到较满意的加速比,为全局优化大规模的目标跟踪工程的实现提供了一个新的选择。当然,并行 PSO 跟踪算法还需进一步研究与完善:(1)对算法进行优化,进一步提高效率;(2)对多种群模式的并行粒子群优化算法进行研究,探讨子种群之间的迁移代频和迁移率的数学模型。

MENG B, ZHU M. Nonlinear object tracking using particle filter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9): 1421-1426. (in Chinese)

- [2] 赵鹏,沈庭芝,单宝堂. 一种基于粒子滤波的无人机电视导引系统目标跟踪算法[J]. 光学精密工程,

2008,16(1):134-140.

ZHAO P, SHEN T ZH, SHAN B T. An object tracking algorithm for TV guiding system of UAV based on particle filter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(1):134-140. (in Chinese)

- [3] 孙中森,孙俊喜,宋建中,等. 一种抗遮挡的运动目标跟踪算法[J]. *光学 精密工程*, 2007,15(2):267-271.
- SUN ZH S, SUN J X, SONG J ZH, *et al.*. Anti-occlusion arithmetic for moving object tracking [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(2):267-271. (in Chinese)
- [4] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]. *IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia*, 1995: 1942-1948.
- [5] EBERHART R C, KENNEDY J. *Swarm Intelligence* [M]. Morgan Kaufmann, San Diego, 2001.
- [6] HU X, SHI Y, EBERHART R C. Recent advance in particle swarm [C]. *Proceedings of the 2004*

*Congress on Evolutionary Computation*, 2004: 90-97.

- [7] YANG L, HU W, YANG S, *et al.*. Application of particle swarm optimization in multi-sensor multi-target tracking [C]. *2006 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics (ISSCAA)*, 2006: 715-719.
- [8] EBERHART R C, SHI Y. Guest editorial special issue on particle swarm optimization [J]. *IEEE Trans. Action on Evolutionary Computation*, 2004, 8(3): 201-203.
- [9] 陈国良. 并行计算—结构、算法、编程(修订版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- CHEN G L. *Parallel Computing: Architecture, Algorithm and Programming* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese)
- [10] FLYYNN, MICHAEL J, KEVIN W R. Parallel architectures [J]. *ACM Computing Surveys*, 1996, 28(1): 67-70.

#### 作者简介:



**许廷发**(1968—),男,博士(后),副教授,北京理工大学信息科学技术学院光电工程系教师,主要从事光电成像探测与识别、高速图像和视频处理应用技术、红外/可见目标跟踪与识别等方面的研究工作。E-mail: ciom\_xtf1@bit.edu.cn



**赵思宏**(1965—),男,吉林长春人,副教授,主要研究方向为空军作战与航空武器装备的应用。E-mail: zhaosihongzsh@sina.com

**周生兵**(1979—),男,湖北潜江人,博士,主要从事 EDA 设计等研究工作。E-mail: zhoushengbing@163.com

**倪国强**(1946—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事图像工程和视频处理等工作。E-mail: nigq@bita.org.cn