

和声搜索算法研究进展^①

雍龙泉

(陕西理工学院 数学系, 汉中 723001)

摘要: 和声搜索算法是一种新兴的智能优化算法, 通过反复调整记忆库中的解变量, 使函数值随着迭代次数的增加不断收敛, 从而来完成优化。算法概念简单、可调参数少、容易实现。研究了和声搜索算法的起源, 基本思想; 给出了和声搜索算法的步骤和基本流程, 并分析了记忆库取值概率和微调概率对算法的影响。比较了和声搜索算法与遗传算法的差异, 给出了和声搜索算法的应用前景和研究趋势。

关键词: 和声搜索算法; 和声记忆库; 记忆库取值概率; 微调概率

Advances in Harmony Search Algorithm

YONG Long-Quan

(Department of Mathematics, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

Abstract: Harmony search algorithm is a new intelligent optimization algorithm. By repeatedly adjusting the solution variables in harmony memory, the function converges to its optimal solution with increased iterations and completes the optimization. The algorithm is simple in concept, less adjustable parameters, easy to implement. In this paper, the origin of harmony search algorithm and the basic idea are given. We give the basic steps and processes of harmony search algorithm, and analyze harmony memory considering rate and pitch adjusting rate that effects on the algorithm. The difference between harmony search algorithm and genetic algorithm is compared. Furthermore, the applications and research trend of harmony search algorithm are pointed out.

Key words: harmony search algorithm; harmony memory; harmony memory considering rate; pitch adjusting rate

1 引言

和声搜索(Harmony search, HS)算法是2001年韩国学者 Geem Z W 等人提出的一种新颖的智能优化算法^[1]。算法模拟了音乐创作中乐师们凭借自己的记忆, 通过反复调整乐队中各乐器的音调, 最终达到一个美妙的和声状态的过程。HS 算法将乐器声调的和声类比于优化问题的解向量, 评价即是各对应的目标函数值。算法引入两个主要参数, 即记忆库取值概率(Harmony memory considering rate, HMCR) 和微调概率(Pitch adjusting rate, PAR)。算法首先产生 HMS (Harmony memory size)个初始解(和声)放入和声记忆库 HM(Harmony memory)内; 然后, 在和声记忆库内随机搜索新解, 具体做法是: 随机产生0~1 的随机数

rand, 如果 $\text{rand} < \text{HMCR}$, 则新解在 HM 内随机搜索得到; 否则在和声记忆库外, 变量可能的值域内搜索取值。再以微调概率 PAR 对取自 HM 内的新解进行局部扰动。最后, 判断新解目标函数值是否优于 HM 内的最差解, 若是, 则更新和声库, 并不断迭代, 直至达到预定迭代次数 Tmax 为止。

目前, 该方法已在多维多极值函数优化、管道优化设计、土坡稳定分析等问题中得到了广泛应用。有关研究表明, HS 算法在解决多维函数优化问题上展示了较遗传算法、模拟退火算法等更好的优化性能^[2-8]。

2 标准的和声搜索算法

HS 算法是 Geem 等人通过类比音乐和最优化问题

① 基金项目:陕西省教育厅自然科学研究项目(09JK381)

收稿时间:2010-11-09;收到修改稿时间:2010-12-06

的相似性而提出的一种现代启发式智能进化算法。类似于遗传算法对生物进化的模仿、模拟退火算法对物理退火机制的模仿以及粒子群优化算法对鸟群鱼群的模仿等，和声搜索模拟了音乐演奏的原理。音乐和声是一种来源于审美观的，令人欢愉的美妙的声音组合。音乐演奏是要寻找一个由美学评价所决定的最佳状态(极好的和声)，同样最优算法也是寻找由目标函数值所决定的最优状态(全局最优——最低花费、最大利益或效率)。美学评价是由参与演奏的乐器发出的声音集合所决定，正如目标函数值是由设计变量值所组成的集合决定的。表 1 对以上说法做出了简要的描述。

表 1 最优化与音乐演奏的对比

类比元素	优化过程	实现过程
最佳状态	全局最优	极好的和声
被...评价	目标函数	美学评价
用...评价	设计变量值	乐器的音调
过程单元	每次迭代	每次练习

在音乐演奏中，乐师们凭借自己的记忆，通过反复调整乐队中各乐器的音调，最终达到一个美妙的和声状态。Geem Z W 等人受这一现象启发将乐器 $i(i=1,2,\dots,m)$ 类比于优化问题中的第 i 个变量，各乐器的音调相当于各变量的值，各乐器音调的和声相当于优化问题的第 j 组解向量，音乐效果评价类比于目标函数，提出了 HS 算法，图 1 即为即兴音乐创作和工程优化的类比。

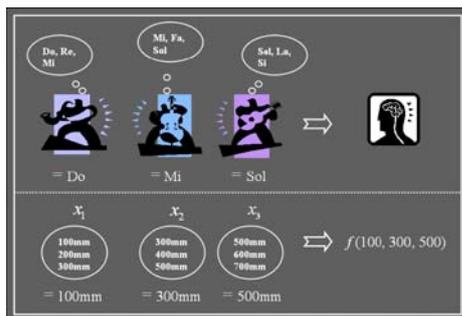


图 1 音乐创作与优化类比

算法首先初始化和声记忆库，然后从和声记忆库中随机产生新的和声，如果新的和声比记忆库中最差的和声好，把新的和声放进记忆库，把最差的和声换出记忆库。如此循环直至满足停止准则。

和声搜索的计算步骤如下：

Step1: 定义问题与参数值

假设问题为最小化，其形式如下

$$\min f(x)$$

$$s.t. x_i \in X_i, i=1,2,\dots,N$$

这里 $f(x)$ 是目标函数， x 是由决策变量 x_i 构成的解向量 ($i=1,2,\dots,N$)，每一个决策的值域为 X_i 。对于离散型变量 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(K))$ ；而连续型变量 $X_i: x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$ ， N 为决策变量个数， K 为离散型变量可能值的个数。算法参数有：①和声记忆库的大小 HMS、②和声记忆库取值概率 HMCR、③音调微调概率 PAR、④音调微调带宽 bw、⑤创作的次数 Tmax,各参数在第一步均要被初始化。

Step2: 初始化和声记忆库

随机生成 HMS 个和声 x^1, x^2, \dots, x^{HMS} 放入和声记忆库，这里和声记忆库可以类比于遗传算法中的种群。和声记忆库形式如下：

$$HM = \begin{bmatrix} x^1 & f(x^1) \\ x^2 & f(x^2) \\ \vdots & \vdots \\ x^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_N^1 & f(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_N^2 & f(x^2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_N^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{bmatrix}$$

Step3: 生成一个新的和声

生成新的和声 $x_i' = (x_1', x_2', \dots, x_N')$ ，新和声的每一个音调 x_i' ($i=1,2,\dots,N$) 通过以下三种机理产生：①学习和声记忆库，②音调微调，③随机选择音调。

举例说明：新解的第一个变量 x_1' 有 HMCR 的概率选自 HM 中 ($x_1^1 \sim x_1^{HMS}$) 的任何一个值，有 $1-HMCR$ 的概率选自 HM 外 (且在变量范围内) 的任何一个值。同样的，其它变量的生成方式如下：

$$x_i' = \begin{cases} x_i^j \in (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}), & \text{if } \text{rand} < \text{HMCR}, \\ x_i \in X_i, & \text{otherwise}; \quad i=1,2,\dots,N \end{cases}$$

其中 rand 表示 [0,1] 上的均匀分布的随机数。

其次，如果新的和声 x_i' 来自和声记忆库 HM，要对其进行音调微调，具体操作如下：

$$x_i' = \begin{cases} x_i + \text{rand1} * \text{bw}, & \text{if } \text{rand1} < \text{PAR}, \quad (\text{连续型}) \\ x_i(k+m), m \in \{-1,1\}, & \text{if } \text{rand1} < \text{PAR}, \quad (\text{离散型}) \\ x_i, & \text{otherwise}; \quad i=1,2,\dots,N \end{cases}$$

其中，bw 为音调微调带宽，PAR 为音调微调概率；rand1 表示 [0,1] 上均匀分布的随机数。

Step4: 更新和声记忆库

对 Step3 中的新解进行评估，如果优于 HM 中的函数值最差的一个，则将新解更新至 HM 中。具体操作如下：

If $f(x^i) < f(x^{worst}) = \max_{j=1,2,\dots,HMS} f(x^j)$, then $x^{worst} = x^i$

Step5: 检查是否达到算法终止条件

重复步骤 Step3 和 Step4, 直到创作(迭代)次数达到 Tmax 为止。

上述 HS 算法流程如图 2 所示。

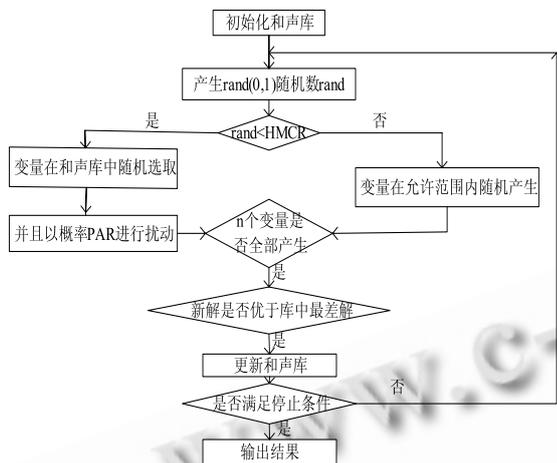


图 2 基本 HS 算法流程

3 和声搜索算法的特点

和声搜索算法也可以随机给出初始解, 也可以事先使用其它启发式等算法或其它方法构成一个较好的初始解。由于和声搜索算法主要是基于邻域搜索的, 初始解的好坏对搜索的性能影响很大。尤其是一些带有复杂约束的优化问题, 随机给出的初始解很可能是不可行的, 甚至通过多步搜索也很难找到可行解, 这个时候应该针对特定的复杂约束, 采用启发式方法或其它方法找出一个可行解作为初始解。

HMS 的大小是 HS 的一个重要参数, HS 之所以具有更强的全局搜索能力, 很大程度上依赖于 HMS 的存在, 一般来说, HMS 越大, 找到全局最优区域的能力越强。但由于 HS 是多点开始的, 随着 HMS 的增大, 计算量将会变大, 从而影响到最终搜索到(近)优解的速度。HMCR 是和声搜索算法的另一个重要参数, 其取值范围是 0~1 之间的数, 它决定每次迭代过程中新解产生的方式。在和声搜索算法中, 因新解产生时每个变量都依赖于 HMCR, 故 HMCR 应取较大的值。音调调节率 PAR 在和声搜索中起控制局部搜索的作用, 它可使搜索逃离局部最优, 其值一般取 0.1 至 0.5 之间。通常取 HMS=5, HMCR=0.9, PAR=0.3, bw=0.01。

和声搜索算法生成新的和声 $x_i^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_N^j)$

时, 新和声的每一个音调 x_i^j ($i = 1, 2, \dots, N$) 通过以下三种机理产生: ①学习和声记忆库, ②音调微调, ③随机选择音调。每个变量 x_i^j 形成的概率, 可由下面的树形图表示

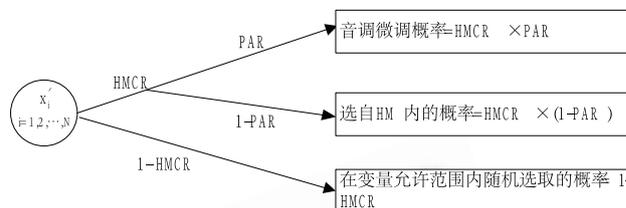


图 3 HS 算法新解产生的机率

HS 算法与遗传算法(GA)在结构上具有如下共同点:

1. 两者初始解都采用随机的方法产生;
2. 都具有适者生存, 不适者淘汰的机制;
3. HS 算法有着类似于 GA 交配和突变的机制。

表 2 详细给出了 GA 与 HS 搜索机制的差异比较。

表 2 GA 与 HS 搜索机制的差异比较

	GA	HS(用 GA 术语描述 HS 搜索)
复制	母体中挑选出成对的染色体	HM 中 HMS 组解被选出
交配	任意两条染色体进行交配 通常进行单点或双点交配	HMS 组解进行交配采用多点交配模式
突变	交配后进行突变	变量有 1-HMCR 的概率逃脱和声记忆库
微调	无微调机制	选自 HMS 中的变量有 PAR 的概率进行微调

选自 HMS 中的变量有 PAR 的概率进行微调

归纳起来, HS 算法具有如下优点:

- 1) 算法通用, 不依赖于问题信息;
- 2) 算法原理简单, 容易实现, 且采用十进制编码 (GA 一般采用二进制编码);
- 3) 群体搜索, 具有记忆个体最优解的能力;
- 4) 协同搜索, 具有利用个体局部信息和群体全局信息指导算法进一步搜索的能力;
- 5) 易于与其他算法混合, 构造出具有更优性能的算法。

4 和声搜索算法的改进

迄今为止, 对 HS 算法的改进主要集中在两方面:

一方面动态调节算法中的某些参数;另一方面是在变量微调时改变随机数的选取方式。

Mahdavi 等人^[9]对 HS 的参数进行了改进,引入动态的微调概率和音调调节率,提出了改进和声搜索算法(improved harmony search algorithm, IHS)。Omran 等人^[10]改进了和声的搜索机制,提出了全局和声搜索(global-best harmony search, GHS)算法,实验结果表明该算法明显优于基本 HS。M.Fesanghary 提出了混合和声搜索(Hybridizing harmony search algorithm with sequential quadratic programming for engineering optimization problems, HHSA)算法^[11],该算法结合 HS 算法与 SQP 算法各自的优点,快速求得优化问题的解。

Leandro dos Santos Coelho 和 Diego L. de A. Bernert 提出了采用指数分布随机数对选自 HM 内的新解进行微调(A Harmony Search Approach Using Exponential Probability Distribution Applied to Fuzzy Logic Control Optimization),并成功应用于模糊逻辑控制优化问题^[12]。

5 和声搜索算法的应用

和声搜索算法自问世以来,在各个领域都取得了一系列的研究成果:如公交线路优化问题、水网设计问题、水库调度问题、土木工程等问题。文献[13]对和声搜索算法的应用进行了详细的综述,主要表现在如下几个方面:

- 1) 公交线路设计问题;
- 2) 水网设计^[6];
- 3) 水库调度^[14];
- 4) 卫星导热管设计^[15];
- 5) HS 算法在非线性马斯京根模型中的应用^[16];
- 6) HS 算法在土木工程中的应用^[17-19];
- 7) HS 算法在辨识 CARMA 模型中的应用^[20];

更多的 HS 算法应用及最新研究成果见文献[21-41]。

6 结语

综观 HS 在算法、理论及应用方面的研究现状,在许多方面值得进一步深入探讨,简单归纳如下:

- 1) HS 的理论研究

应着重于算法收敛性、收敛速度、参数选取、参数鲁棒性等方面的理论探讨,包括多目标、约束、离散

和动态环境下 HS 算法的相关理论研究。

2) HS 的算法研究

应注重高效 HS 的开发,提出合理的参数更新公式以及有效的均衡全局搜索和局部改进的策略。应注重高效混合 HS 方法的设计,包括 HS 与传统优化算法(DFP/BFGS/SQP)的结合;DE 与神经网络、模糊逻辑、进化算法、模拟退火、禁忌搜索、生物智能以及混沌等方法或策略的结合。另外,鉴于 HS 对算法参数的依赖性,提出合理选取参数的指导性方法或结论同样值得重视。

3) HS 的应用研究

应该注重 HS 在离散、多目标、约束、不确定、动态等复杂优化问题上的研究和应用。同时,HS 的应用领域也有待进一步拓宽。就工程优化及自动化领域而言,问题的多极小性、多约束性、离散连续变量共存、非线性、多目标性、不确定性等复杂性普遍存在,因此 HS 在该领域的研究与应用是一个很有前景的课题。

参考文献

- 1 Geem ZW, Kim JH, Loganathan GV. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 2001, 76(2):60-68.
- 2 Kim JH, Geem ZW, Kim ES. Parameter estimation of the nonlinear muskingum model using harmony search. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(5): 1131-1138.
- 3 Kang SL, Geem ZW. A new structural optimization method based on harmony search algorithm. *Computers and Structures*, 2004, 82(9-10):781-798.
- 4 Geem ZW, Lee KS, Park Y. Application of harmony search to vehicle routing. *American Journal of Applied Sciences*, 2005, 2(12):1552-1557.
- 5 Lee KS, Geem ZW. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2005, 194(36-38):3902-3933.
- 6 Geem ZW. Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Eng Optimiz*, 2006, 38(3): 259-280.
- 7 Geem ZW, Kimj H, Logana TGV. Harmony search optimization: application to pipe network design. *International Journal*

- of Model Simulation, 2002,22(2):125-133.
- 8 Geem ZW, Tseng CL. New Methodology, Harmony Search and Its Robustness. Late-Breaking Papers of Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2002), New York City, USA, July 2002.174-178.
- 9 Mahdavi IM, Fesanghary M, Damangir E. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. Applied Mathematics and Computation, 2007,188(2): 1567-157.
- 10 Mahdavi IM. Global-best harmony search. Applied Mathematics and Computation, 2008,198(2):643-656.
- 11 Fesanghary M, Mahdavi M, Jolani MM, Alizadeh Y. Hybridizing harmony search algorithm with sequential quadratic programming for engineering optimization problems, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2008,197(33-40),3080-3091.
- 12 Leandro dos Santos Coelho and Diego L. de A. Bernert. A Harmony Search Approach Using Exponential Probability Distribution Applied to Fuzzy Logic Control Optimization. Studies in Computational Intelligence, 2010,270,77-88.
- 13 梁海伶.和声搜索算法在函数优化问题中的应用研究[学位论文].沈阳:东北大学系统科学研究所,2009.
- 14 Geem ZW. Optimal scheduling of multiple dam system using harmony search algorithm. Lecture Notes in Computer Science, 2007,4507:316-323.
- 15 Geem ZW, Park Y. Harmony search for layout of rectangular branched networks. WSEAS Trans. on Systems, 2006,5(6):1349-1354.
- 16 王蕊,夏军,张文华.和声搜索在非线性的马斯京根模型参数率定中的应用.水电能源科学,2008,26(4):36-39.
- 17 金永强,苏怀智,李子阳.基于和声搜索的边坡稳定性投影跟踪聚类分析.水利学报,2007,(S):682-686.
- 18 李亮,迟世春,林皋,等.潘家铮极值原理与和声搜索算法进行土坡稳定性分析.岩土力学,2007,28(1):157-162.
- 19 李亮,迟世春,林皋.改进和声搜索算法及其在土坡稳定性分析中的应用.土木工程学报,2006,39(5):107-111.
- 20 刘铁男,冯兆冰.基于和声搜索的自适应滤波算法.吉林大学学报(信息科学版),2004,22(4):306-309.
- 21 李亮.智能优化算法在突破稳定性分析中的应用[博士学位论文].大连:大连理工大学,2005.
- 22 田永红,薄亚明,高美凤.多维多极值函数优化的和声退火算法.计算机仿真,2004,21(10):79-82.
- 23 李亮,迟世春.新型和声搜索算法在土坡稳定性分析中的应用.水利与建筑工程学报,2004,21(10):1-7.
- 24 郭祯祥.直交调和搜寻最佳化演算法[硕士学位论文].台中:东海大学工业,2006.
- 25 Geem ZW. Harmony search algorithm for solving sudoku. Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 2007,4692:371-378.
- 26 Lee KS, Geem ZW, Lee SH, Bae KW. The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization. Eng. Opti, 2005,37(7):663-684.
- 27 Li BB, Wang L. A hybrid quantum-inspired genetic algorithm for multi-objective flow shop scheduling. IEEE T Syst Man Cy B, 2007,37(3): 576-591.
- 28 Geem ZW. Optimal scheduling of multiple dam system using harmony search algorithm, Lecture Notes in Computer Science, 2007,4507:316-323.
- 29 Geem ZW, Park Y. Harmony search for layout of rectangular branched networks. WSEAS Transactions on Systems, 2006,5(6):1349-1354.
- 30 Geem ZW. Novel derivative of harmony search algorithm for discrete design variables. Applied Mathematics and Computation, 2008,199:223-230.
- 31 Degertekin S. Optimum design of steel frames using harmony search algorithm. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2008,36:393-401.
- 32 Geem ZW. Optimal Design of Water Distribution Networks Using Harmony Search, LAP, 2009.
- 33 Geem ZW. Music-inspired harmony search algorithm: theory and applications. Springer, Berlin, 2009.
- 34 Geem ZW. Harmony search algorithms for structural design optimization. Springer, Berlin, 2009.
- 35 Geem ZW. Recent Advances in Harmony Search Algorithm. Springer, Berlin, 2010.
- 36 Wang CM, Huang YF. Self-adaptive harmony search algorithm for optimization. Expert Systems with Applications, 2010,37(4):2826-2837.
- 37 宋志宇,李俊杰.和声搜索最小二乘支持向量机预测模型及其应用.哈尔滨工业大学学报,2009,41(8):207-210.
- 38 张凤荣,潘全科,庞荣波,李寰.基于和声退火算法的多维函数优化.计算机应用研究,2010,27(3):853-855.
- 39 刘思远,柳景青.一种新的多目标改进和声搜索优化算法.计算机工程与应用,2010,46(34):27-30.
- 40 Wang CM, Huang YF. Self-adaptive harmony search algorithm for optimization. Expert Systems with Applications, 2010,37(4):2826-2837.
- 41 Pan QK, Suganthan PN, Tasgetiren MF, Liang JJ. A self-adaptive global best harmony search algorithm for continuous optimization problems. Applied Mathematics and Computation, 2010,216(3):830-848.

智能摄像机技术及发展^①

张汝敏¹, 张运楚^{1,2}, 郑学汉^{1,2}

¹(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

²(山东省智能建筑技术重点实验室, 济南 250101)

摘要: 在回顾国内外监控摄像机技术的发展历程及存在的问题的基础上, 介绍了智能摄像机的功能结构和硬件需求; 详细分析了智能摄像机涉及的嵌入式处理器、视频分析、视频压缩、网络通信等关键技术及解决方案。最后展望了智能摄像机的发展趋势和应用前景。

关键词: 智能摄像机; 嵌入式处理器; 视频分析; 视频压缩; 网络通信

Review of Intelligent Camera Technology

ZHANG Ru-Min¹, ZHANG Yun-Chu^{1,2}, ZHENG Xue-Han^{1,2}

¹(School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

²(Shandong Provincial Key Laboratory of Intelligent Buildings Technology, Ji'nan, 250101, China)

Abstract: In reviewing the development and drawbacks of surveillance camera technology at home and abroad, this paper first introduces the intelligent camera's functional structure and hardware needs. Then, key technologies and solutions such as embedded processor, video analysis, video compression and network communication are analyzed. Finally, the development trend and the application perspective of intelligent camera are prospected.

Key words: intelligent camera; embedded processor; video analysis; video compression; network communication

1 引言

由于恐怖威胁的存在和社会对安全需求的提高, 视频监控技术日渐为安全防范领域所重视。摄像机作为整个视频监控的前端产品, 呈现出从传统的模拟摄像机向数字化、网络化和智能化方向快速发展的趋势。模拟摄像机输出与传输的是模拟视频信号, 由于信号必须由电缆传输, 容易受到电磁干扰, 并且受 NTSC/PAL 制式的限制, 摄像机的分辨率最多能达到几百万像素。网络摄像机在模拟摄像机的基础上集成了视频压缩和网络传输处理功能, 具有清晰度高、安装灵活、节省成本等优势。基于 DSP(Digital Signal Processing)技术的高端网络摄像机除了能改善图像质量和实现视频网络传输外, 还具备了简单的智能化功能, 但还不具备行为分析与场景理解等高级视频内容分析功能。

智能摄像机(Intelligent Camera)在网络摄像机的基

础上^[1], 融入更强大的视频内容分析功能, 能够对动态场景中的目标完成行为分析和场景理解, 从而提高视频监控系统的能力和效率。因此, 智能摄像机成为目前视频监控技术研究的热点。

2 智能摄像机的功能结构

嵌入式智能摄像机的概念首先是由美国普林斯顿大学的 Wayne Wolf 教授在 IEEE《Computer》杂志上发表的一篇《Smart Camera As Embedded System》论文^[2]提出的, 即能够进行获取监控场景高层次描述并且对其进行实时分析的嵌入式设备。智能摄像机能够对动态场景中的目标进行探测、跟踪和识别, 完成行为分析和场景理解, 实现监控场景的人工目视分析向自动分析的转变。图 1 是智能摄像机内部功能框图^[3]。主要包括三个部分: 传感器单元、处理器单元和通信单元。

① 基金项目:中国科学院自动化所复杂系统与智能科学实验室开放基金(2006081)

收稿时间:2010-10-18;收到修改稿时间:2010-11-13