

# 一种受人脑三阶段记忆机制启发的 鲁棒运动目标跟踪方法

王延江, 李 蕙, 齐玉娟

(中国石油大学(华东)信息与控制工程学院, 山东青岛 266580)

**摘 要:** 目前大多数运动目标跟踪算法在目标姿态发生突变或目标被严重遮挡后会产生目标丢失现象,为解决此类问题,受人脑三阶段记忆信息处理机制的启发,本文提出一种三层旋转圆记忆模型(Spinning Tri-Layer-Circle Memory Modeling, STLC-MM)用于在目标跟踪过程中对目标模板进行更新. 模型定义了三个旋转圆记忆空间用于存储和处理跟踪过程中用过的目标模板. 三个圆记忆空间旋转时,记忆空间中的模板也随之以相同的速度旋转,同时模型通过模拟一些人类的认知行为,如,记忆、提取、遗忘等对模板进行更新. 最后,为了验证所提方法有效性,本文将STLC-MM嵌入到粒子滤波目标跟踪框架进行目标跟踪实验. 实验结果表明所提方法在目标姿态突变以及严重遮挡等方面具有较强的鲁棒性.

**关键词:** 人脑记忆模型; 三层圆旋转模型; 粒子滤波; 运动目标跟踪

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2017)09-2065-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2017.09.002

## Robust Moving Object Tracking Method Inspired by The Mechanism of Human Brain Three-Stage Memory Model

WANG Yan-jiang, LI Hui, QI Yu-juan

(College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

**Abstract:** Most of the current object tracking algorithms will fail when sudden appearance changes and serious occlusions occur. Inspired by the mechanism of human brain three-stage memory model, this paper develops a spinning tri-layer-circle memory model (STLC-MM) and applies it for template updating during object tracking. Three memory spaces are defined to store and process the object templates used during tracking. With three circle memory spaces spinning, templates in the three memory spaces are updated by imitating the cognitive process of memorization, recall, and forgetting. Finally, in order to verify the effect of the proposed model, STLC-MM is incorporated into a particle filter (PF) framework. Experimental results show that the proposed method is more robust to sudden appearance changes and serious occlusions.

**Key words:** human brain memory modeling; spinning tri-layer-circle memory model; particle filters; moving object tracking.

### 1 引言

目标跟踪可定义为目标在场景中运动时对目标轨迹的估计<sup>[1]</sup>. 在过去的几十年, 研究人员在目标跟踪方面做了很多努力并提出了很多有效的目标跟踪方法, 如, 均值漂移、粒子滤波, 等等. 尽管研究人员在建立鲁棒跟踪框架方面做了很多努力<sup>[2,3]</sup>, 目标姿态突变和遮挡问题仍然是视觉跟踪领域具有挑战性的课题.

众所周知, 人类在目标姿态变化和目标遮挡情况下, 能够毫不费力地跟踪、识别目标. 人类的这一能力得益于其功能强大的记忆系统. 当人类感知事物时, 存储在记忆中的与其相关的一些信息能够被提取出来. 作为人脑中信息存储的一种器官, 记忆机制已在神经科学、生物心理学、认知科学、认知信息学等领域得到广泛研究<sup>[4,5]</sup>. 近年来, 基于记忆的认知建模方法已应用到很多领域, 如机器学习<sup>[6]</sup>、问题求解<sup>[4]</sup>、对话系统建

模<sup>[7]</sup>、虚拟现实<sup>[8,9]</sup>、人工生命<sup>[10]</sup>、机器人<sup>[11]</sup>、人机接口<sup>[12]</sup>、交通流量预测<sup>[13]</sup>等. 在作者前期研究工作中, 将人脑三阶段记忆模型用于混合高斯背景建模, 较好地解决了背景突变等问题<sup>[14]</sup>, 并建立了一种基于记忆的视觉信息处理的逻辑模型, 用于模拟人脑三阶段记忆模型信息存储和提取过程<sup>[15]</sup>. 该模型中, 定义了三个记忆空间, 即: 瞬时记忆空间、短时记忆空间和长时记忆空间, 分别用于存储当前、暂时以及永久信息. 所提出的基于记忆的视觉信息处理模型能够记住或遗忘曾经的场景, 能够快速适应场景变化. 本文工作是在前期工作基础上并借鉴文献[13]的旋转框架, 实现一种模拟人脑信息存储和提取的记忆计算模型.

## 2 三层旋转圆记忆模型

根据文献[13]的旋转框架以及文献[16]的人脑三阶段记忆模型, 三层旋转圆记忆模型如图1所示. 其中, 名为 USTMS, STMS, LTMS 的三个圆分别用来模拟人类的瞬时记忆、短时记忆以及长时记忆, 每一个圆记忆空间的结构如图2所示.

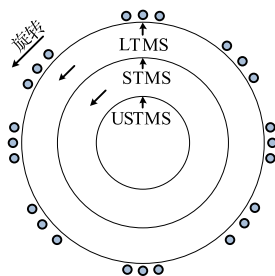


图1 三层旋转圆记忆模型

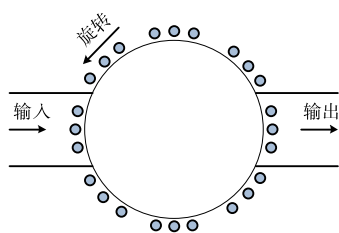


图2 记忆圆结构示意图

圆记忆空间的属性描述如下:

(1) 信息存储: 每一个圆记忆空间用来对可记忆的信息进行存储和处理. 圆记忆空间上的实心圆表示存储的信息, 称之为信息粒 (Information Granule, IG), 代表能被 STLC-MM 处理、存储和提取的基本元素. 信息粒可表示任何形式的数字, 例如一个数字、一个向量甚至一幅图像;

(2) 旋转: 每一个圆记忆空间都可以异步顺时针或逆时针旋转, 而且旋转速度是可调的;

(3) 输入窗口: 每一个圆记忆空间都有一个物理位

置固定的输入窗口, 用来接收新的信息粒. 当圆记忆空间旋转时, 只有一部分已存在的信息粒显示在输入窗口中. 当新的信息粒输入时, 如果输入窗口未空, STLC-MM 设法将新的信息粒放于输入窗口中的空置空间; 若输入窗口已空, 新的信息粒与输入窗口中已有的信息粒进行比较, 将其与最相似的信息粒融合. 当信息粒放置于输入窗口中, 称该信息粒被记住;

(4) 输出窗口: 每一个记忆空间都有一个物理位置固定的输出窗口. 当新的信息粒输入时, 每一个圆记忆空间都自动产生一个输出, 称之为“被提取的信息粒”. 被提取信息粒是根据新的信息粒与输出窗口中的每一个信息粒相比较从中选择最相似的信息粒而产生的. 这就意味着当新的信息粒输入时, STLC-MM 中的每一个圆记忆空间产生自己的输出, 最后三个输出进行比较, 选择与新输入的信息粒最相似的作为 STLC-MM 的最终输出.

值得一提的是: 三层圆记忆空间容量不同, 旋转速度不同. 根据人脑三阶段记忆理论, 瞬时记忆是创建记忆的第一步且输入刺激在瞬时记忆中只保存很短的时间, 而存储在长时记忆的信息可以保存较长时间<sup>[17]</sup>; 因此, 在 STLC-MM 中, 指定 USTMS 的容量最小且旋转速度最快, 而 LTMS 的容量最大, 而旋转速度最慢. 除此之外, STLC-MM 还尽力模仿记忆的如下特性, 如:

(1) 当认知新的事物时, 存储在记忆空间中的相关信息能被提取和处理;

(2) 记忆是具有联想性的, 是事件或场景触发的;

(3) 信息的提取与搜索信息的时间和努力有关;

(4) 长时不用或不被提取的信息将从记忆中遗忘.

## 3 基于三层旋转圆记忆模型的目标模板更新建模

基于上述三层旋转圆记忆模型的模板更新模型如图3所示, 其中, 标注为 USTMS, STMS, LTMS 的三个记忆空间分别用来模拟人类的瞬时记忆、短时记忆以及长时记忆; 每一个记忆空间都用一个可旋转的圆来表示, 每一个旋转圆的结构如图2所示, 其中圆记忆空间上的实心圆表示存储的信息粒, 即目标模板. STLC-MM 的输入是当前帧的估计模板, 而输出是更新后用于下一帧估计的目标模板. USTMS, STMS, 以及 LTMS 定义如下:

**定义1** USTMS (Ultra-Short Time Memory Space, 瞬时记忆空间):  $K_u$  个当前帧的估计模板  $p$  集合, 用来模拟人脑瞬时记忆阶段. 设  $T_u[t]$  表示瞬时记忆空间的第  $t$  个模板, 则有

$$\text{USTMS} = \{T_u[t], t = 1, 2, \dots, K_u\} \quad (1)$$

**定义2** STMS (Short Time Memory Space, 短时记忆

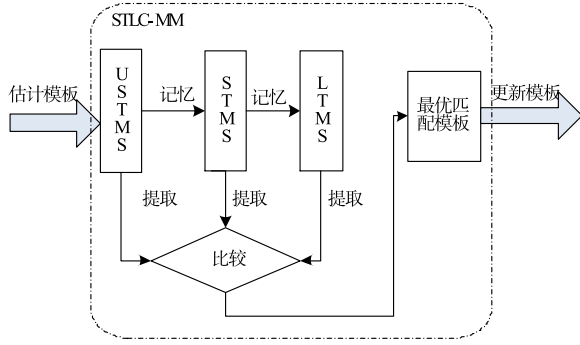


图3 基于三层旋转圆记忆模型的目标模板更新模型

空间):从瞬时记忆空间而来的  $K_s$  个融合模板的集合,用于模拟人脑的短时记忆阶段. 设  $T_s[i]$  表示短时记忆空间第  $i$  个模板, 则有

$$STMS = \{T_s[i], i = 1, 2, \dots, K_s\} \quad (2)$$

**定义 3** LTMS(Long Time Memory Space, 长时记忆空间):从短时记忆空间而来的  $K_l$  个融合模板的集合,用于模拟人脑长时记忆阶段. 设  $T_l[j]$  表示长时记忆空间中的第  $j$  个模板, 则有

$$LTMS = \{T_l[j], j = 1, 2, \dots, K_l\} \quad (3)$$

为了更好地描述 STLC-MM 信息处理过程, 定义如下四个行为: 旋转、记忆、提取和遗忘.

**定义 4** 旋转: 每一个记忆空间按一定的速度旋转. 随着圆记忆空间旋转, 圆记忆空间中的所有模板也按相同的速度旋转.

一般来说, 假设圆记忆空间的容量为  $M_c$ , 圆记忆空间的旋转速度为  $C_s$ , 则旋转后位于位置的模板  $T[i]$  被  $T[(i + C_s) \% M_c]$  取代, 即:

$$T[i] = T[(i + C_s) \% M_c] \quad (4)$$

其中  $\%$  是求余算子.

随着记忆空间的旋转, 输入窗口和输出窗口中的模板相应更新.

**定义 5** 记忆: 如果模板放置于圆记忆空间的输入窗口, 则称该模板被记忆空间记住. 设  $T$  为一个模板, 若

$$T_{u,in}[i] = T \text{ or } T_{s,in}[j] = T \text{ or } T_{l,in}[k] = T$$

则称  $T$  被该空间记住了. 其中  $T_{u,in}[i]$  是瞬时记忆空间输入窗口中的模板,  $i = 1, 2, \dots, S_u$ ;  $T_{s,in}[j]$  是短时记忆空间输入窗口中的模板,  $j = 1, 2, \dots, S_s$ ;  $T_{l,in}[k]$  是长时记忆空间输入窗口中的模板,  $k = 1, 2, \dots, S_l$ ;  $S_u, S_s, S_l$  分别是 USTMS、STMS 和 LTMS 三个输入窗口的大小.

**定义 6** 提取: 从输出窗口中找到匹配模板的过程称之为提取. 从这个意义上说, 输出窗口的大小与每一个记忆模板的提取概率密切相关. 也即: 输出窗口越大, 模板被提取的概率也越大. 设  $p$  是当前估计模板,  $T_l[i]$  表示输出窗口中的模板, 若

$$\sum_{j=1}^m \sqrt{(p)_j(T_l[i])_j} > th \quad (5)$$

则称  $T_l[i]$  是匹配模板, 或者说  $T_l[i]$  被提取出来. 其中  $th$  为预先设定的阈值.

**定义 7** 遗忘: 一个模板从任一记忆空间中删除, 则称该模板被遗忘. 遗忘行为可发生在任一空间中的记忆和提取行为过程.

$$\forall T \in USTMS \cup STMS \cup LTMS$$

若  $T \rightarrow \emptyset$ , 则称  $T$  被遗忘.

此外, 为了描述记忆空间中模板之间的相互行为, 定义了两个函数: 比较和融合.

**定义 8** 比较: 该函数用于评价两个模板的相似度并输出一个相似度系数作为融合的基础. 本文利用两个模板的 Bhattacharya 系数作为相似度系数. 设  $T_1$  和  $T_2$  分别表示两个模板, 则二者之间的相似度定义为:

$$\text{sim}(T_1, T_2) = \sum_{i=1}^m \sqrt{(T_1)_i(T_2)_i} \quad (6)$$

其中  $m$  为模板特征维数.

**定义 9** 融合: 该函数用于将两个或多个模板融合为一个. 若两个模板的相似度满足下式:

$$\text{sim}(T_1, T_2) > Th$$

则二者融合函数定义为:

$$T_m = \text{merg}(T_1, T_2) = \alpha T_1 + (1 - \alpha) T_2 \quad (7)$$

其中,  $Th$  是预先定义的阈值;  $T_m$  是融合后产生的新模板;  $\alpha$  为融合系数.

基于 STLC-MM 的目标模板更新算法详述为:

**Step 1** 初始化. 第一帧时将初始化目标模板存储到 USTMS, 并将 STMS 和 LTMS 置为空. 随着后续跟踪过程, USTMS 和 LTMS 将会被填满.

**Step 2** 三个记忆空间以不同的速度进行旋转, 假设三个空间的旋转速度分别为  $C_{s_u}, C_{s_s}, C_{s_l}$ , 旋转之后记忆空间中的模板按照(4)式进行更新, 具体地

USTMS:

$$T_u[t] = T_u[(t + C_{s_u}) \% K_u], t = 1, 2, \dots, K_u \quad (8)$$

STMS:

$$T_s[i] = T_s[(i + C_{s_s}) \% K_s], i = 1, 2, \dots, K_s \quad (9)$$

LTMS:

$$T_l[j] = T_l[(j + C_{s_l}) \% K_l], j = 1, 2, \dots, K_l \quad (10)$$

同时, 三个圆记忆空间输入窗口和输出窗口中的模板也随之更新.

**Step 3** 分别对 USTMS、STMS 以及 LTMS 的三个输出窗口中的记忆模板进行比较

(1) 如果 USTMS 的输出窗口中找到两个或两个以上相似模板, 这些相似模板就会被融合. 融合后的模板将输入到 STMS, 而原先的相似模板就会被遗忘. 如果 STMS 的输入窗口未满足, 直接存储  $T_{u,o}$  (融合后模板); 若

STMS 输入窗口已满,  $T_{u,o}$  与 STMS 输入窗口中的模板进行比较, 也就是调用比较函数计算 Bhattacharya 系数  $\rho = \text{sim}(T_{u,o}, T_s[i]), i = 1, 2, \dots, S_s$  (其中  $S_s$  是 STMS 输入窗口的最大容量). 如果  $\rho_{\max} = \text{sim}(T_{u,o}, T_s[j])$ , 则  $T_{u,o}$  与  $T_s[j]$  相融合, 并取代原先的模板  $T_s[j]$ , 即:

$$T_s[j] = \text{merg}(T_{u,o}, T_s[j]) = (1 - \alpha)T_s[j] + \alpha \cdot T_{u,o} \quad (11)$$

其中,  $\alpha$  是融合系数, 本文中  $\alpha = \rho_{\max}$ .

(2) 如果 STMS 输出窗口中的两个或多个模板相似, 融合这些模板, 融合后的模板输入到 LTMS, 并遗忘原相似模板. 如果 LTMS 输入窗口未饱和, 直接存储  $T_{s,o}$  (融合后模板); 反之, 计算  $T_{s,o}$  与 LTMS 输入窗口中每一个模板的相似度,  $\rho = \text{sim}(T_{s,o}, T_l[i]), i = 1, 2, \dots, S_l$  (其中,  $S_l$  是 STMS 输入窗口的最大容量). 如果  $\rho_{\max} = \text{sim}(T_{s,o}, T_l[j])$ , 则将  $T_{s,o}$  与  $T_l[j]$  融合并取代原先的  $T_l[j]$ , 即:

$$T_l[j] = \text{merg}(T_{s,o}, T_l[j]) = (1 - \alpha)T_l[j] + \alpha \cdot T_{s,o} \quad (12)$$

(3) 如果 LTMS 输出窗口中存在两个或多个模板相似, 在 LTMS 输出窗口中融合这些相似模板, 融合后的模板取代相似模板中的一个, 剩余相似模板就从记忆空间中遗忘.

**Step 4** 将当前帧的估计模板  $p$  输入到 STLC-MM.  $p$  首先作为 USTMS 的输入, 如果 USTMS 的输入窗口未饱和, 直接存储  $p$ ; 否则, 计算估计模板  $p$  与 USTMS 输入窗口中的每一个模板的相似度系数  $\rho = \text{sim}(p, T_u[t]), t = 1, 2, \dots, S_u$  (其中,  $S_u$  是 USTMS 输入窗口的最大容量). 如果  $\rho_{\max} = \text{sim}(p, T_u[j])$ , 则  $p$  与  $T_u[j]$  融合后的模板取代原先的模板  $T_u[j]$ . 即:

$$T_u[j] = \text{merg}(p, T_u[j]) = (1 - \alpha)T_u[j] + \alpha \cdot p \quad (13)$$

**Step 5** 在三个记忆空间寻找最优匹配. 当前帧估计模板  $p$  输入到 STLC-MM 后, STLC-MM 通过计算当前帧估计模板  $p$  与三个记忆空间输出窗口中的目标模板的相似度系数, 三个记忆空间分别输出三个“提取模板”, 分别表示为:  $T_{u,r}, T_{s,r}$  和  $T_{l,r}$ . 最优匹配模板  $T_{\text{best}}$  由下式选取:

$$T_{\text{best}} = \arg \max(\text{sim}(p, T_{t,r})), t = u, s, l \quad (14)$$

最优模板也是 STLC-MM 用于下一步预测的输出.

## 4 实验结果讨论

为了验证所提算法的有效性, 将 STLC-MM 嵌入到粒子滤波跟踪框架进行运动目标跟踪, 利用标准视频在主频为 P4 3.0G 的计算机上进行了测试, 并与传统粒子滤波 (Particle Filter, PF) 方法以及整体模板更新 (即模板每一分量都按照同一个更新系数进行更新) 的粒

子滤波 (Total Template Updating Particle Filter, TTU-PF) 方法的跟踪效果进行了对比.

实验中算法参数设置如下:

目标模板采用量化等级为  $m = 16 \times 16 \times 16$  的 RGB 颜色直方图特征, USTMS、STMS 和 LTMS 的容量分别为  $K_u = 9, K_s = 11, K_l = 13$ ; USTMS、STMS 和 LTMS 三个输入窗口的大小分别设置为:  $S_u = S_s = S_l = 1$ ; 为了使得记忆空间中的每一个模板都能被提取, 记忆空间输出窗口设置为相应记忆空间的大小; 预先设定的阈值  $\text{th} = \text{Th} = 0.85$ ; 三种方法的粒子数均设置为  $N = 100$ ; TTU-PF 算法中整体模板更新系数设为 0.4.

(1) 目标姿态突变跟踪实验

第 1 组实验用于跟踪姿态突变的目标. 实验中所用视频是通过标准视频“seq\_dk”<sup>[18]</sup> (<http://www.ces.clemson.edu/~stb/research/headtracker/seq>) 截取和合并得到的.

图 4(a) ~ (c) 分别显示了标准粒子滤波方法、整体模板更新粒子滤波方法和本文所提方法跟踪结果 (初始化模板手动选取). 视频中的目标在背对镜头时突然转身, 从而产生姿态突变 (视频 82 帧到 83 帧). 实验结果显示: 当目标姿态与初始化模板差别较大时, PF 和 TTU-PF 逐渐偏移目标; 而所提方法能够记住原先的目



图4 跟踪一个姿态突变的目标

标模板,当目标姿态发生突变时,能够从记忆空间中提取相关的目标模板,因此本文所提方法能够一直较好地为目标进行跟踪.

(2) 目标遮挡跟踪实验

第 2 组实验用于测试本文算法对被另一目标不断遮挡的目标的跟踪. 在序列“seq\_jd”中,感兴趣目标被另一目标多次遮挡. 图 5(a)~(c)分别显示了传统粒子滤波方法、整体模板更新粒子滤波方法和本文所提方法跟踪结果(初始化模板手动选取). 实验结果显示,当目标脱离遮挡后,本文所提方法能很快恢复对感兴趣目标的跟踪.



(c) 本文所提方法跟踪效果  
图5 跟踪完全被遮挡的人

在序列“seq\_mb”中,感兴趣目标多次被相似的运动目标干扰. 图 6 给出了本文算法跟踪结果. 实验结果

显示,虽然受到其它相似目标的干扰和遮挡,本文所提算法仍能较稳定的对目标进行跟踪.

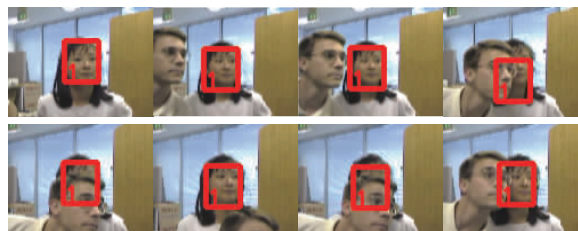


图6 本文所提方法跟踪一个被多次遮挡的人

(3) 最优模板 Bhattacharya 系数曲线

图 7 分别显示了三个测试视频“seq\_dk”,“seq\_jd”,和“seq\_mb”目标跟踪过程中的最优模板的 Bhattacharya 系数曲线图. 从曲线图可看出,三个实验视频在目标跟踪过程中目标姿态发生突变后,由于算法具有记忆功能,因此 Bhattacharya 系数能很快的从低谷恢复到最大值,从而使跟踪更加鲁棒.

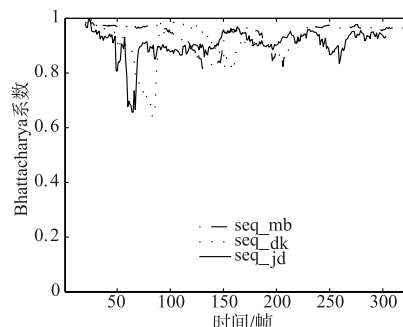


图7 三个测试视频Bhattacharya系数曲线图

5 结论

本文提出一种三层旋转圆记忆模型 (Spinning Tri-Layer-Circle Memory Model, STL-CMM) 用于模拟人脑三阶段记忆的信息存储和提取过程,并将其应用于运动目标跟踪过程的目标模板更新. 随着三层圆记忆空间的旋转,STL-CMM 通过模拟人脑的认知行为如记忆、提取和遗忘等更新三个记忆空间中的目标模板. 当获取当前帧的估计模板后,首先将其输入到 USTMS,接着三个记忆空间输出窗口中的所有模板与当前帧估计模板进行比较,选择最相似的模板作为 STL-CMM 的输出. 最后,为了验证所提方法的有效性,将 STL-CMM 嵌入到粒子滤波框架利用标准视频进行测试. 实验结果显示,所提方法能够鲁棒处理目标姿态突变及严重遮挡等问题.

参考文献

[1] Yilmaz A, Javed O. Object tracking: a survey [J]. ACM Computing Surveys, 2006, 38(4): 1-45.  
[2] 常发亮, 马丽, 刘增晓, 乔谊正. 复杂环境下基于自适应

- 粒子滤波器的目标跟踪[J]. 电子学报, 2006, 34 (12): 2150 - 2153.
- Chang Fa-liang, Ma Li, Liu Zeng-xiao, Qiao Yi-zheng. Target tracking based on adaptive particle filter under complex background[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34 (12): 2150 - 2153. (in Chinese)
- [3] 张凯, 单甘霖, 等. 基于姿态角辅助非线性滤波算法的机动目标跟踪[J]. 电子学报, 2012, 40 (8): 1670 - 1675.
- Zhang Kai, Shan Gan-lin, et al. Maneuvering targets tracking based on pose-aided nonlinear filter algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40 (8): 1670 - 1675. (in Chinese)
- [4] Wang Y X, Chiew V. On the cognitive process of human problem solving[J]. Cognitive Systems Research, 2010, 11 (1): 81 - 92.
- [5] Wang Y X. Formal description of the cognitive process of memorization [A]. Lecture Notes in Computer Science [C]. Heidelberg: Springer Verlag, 2009. 81 - 98.
- [6] Lin J H. A Theory for memory-based learning[J]. Machine Learning, 1994, 17(2): 143 - 167.
- [7] Putze F, Schultz T. Cognitive memory modeling for interactive systems in dynamic environments[A]. 1st International Workshop on Spoken Dialog Systems [C]. Kloster Irsee, Germany: IWSDS, 2009.
- [8] Dinerstein J, Egbert P K, Garis H, Dinerstein N. Fast and learnable behavioral and cognitive modeling for virtual character animation [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2004, 15(2): 95 - 108.
- [9] Yang Z, Fan Y, Zhang B, Cheng X. A computation memory model with human memory features for autonomous virtual humans [A]. Proceedings of International Conference on Computer Application and System Modeling [C]. Piscataway: IEEE Computer Society, 2010. 3246 - 3250.
- [10] Ai D M, Ban X J, Zhang S J. Cognitive modeling of artificial fish learning and memory [A]. Proceedings of the 12th International Symposium on Artificial Life and Robotics [C]. United Kingdom: AROB, 2007. 280 - 283.
- [11] Ho W C, Dautenhahn K, Lim M Y, Casse K D. Modeling human memory in robotic companions for personalization and long-term adaptation in HRI [A]. Proceedings of the First Annual meeting of the Biologically Inspired Cognitive Architecture Society [C]. Amsterdam: IOS Press, 2010. 64 - 71.
- [12] Gnjatovi'c M, Janev M, Deli'c V. Focus tree: modeling attentional information in task-oriented human-machine interaction [J]. Applied Intelligence, 2012, 37 (3): 305 - 320.
- [13] Huang S, Sadek Adel W. A novel forecasting approach inspired by human memory: The example of short-term traffic volume forecasting [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2009, 17(5): 510 - 525.
- [14] 齐玉娟, 王延江, 李永平. 基于记忆的混合高斯背景建模[J]. 自动化学报, 2010, 36(11): 1520 - 1526.
- Qi Yu-juan, Wang Yan-jiang, Li Yong-ping. Memory-based Gaussian mixture background modeling [J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(11): 1520 - 1526. (in Chinese)
- [15] Wang Y J, Qi Y J. Memory-based cognitive modeling for robust object extraction and tracking [J]. Applied Intelligence, 2013, 39(1): 614 - 629.
- [16] Atkinson R C, Shiffrin R M. Human memory: A proposed system and its control processes [J]. The Psychology of Learning and Motivation: Advances In Research and Theory, 1968, 2: 89 - 195.
- [17] Atkinson R C, Shiffrin R M. Mathematical models for memory and learning [R]. Stanford, California: Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University, 1965.
- [18] Birchfield S. Elliptical head tracking using intensity gradients and color histograms [A]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1998. 232 - 237.

#### 作者简介



王延江 男, 1966 出生, 山东海阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能信息处理与认知计算建模.



李 蕙 女, 1986 出生, 山东淄博人, 博士研究生, 主要研究方向为计算机视觉、模式识别.



齐玉娟 女, 1977 出生, 山东诸城人, 博士, 讲师, 主要研究方向为: 计算机视觉、模式识别. 本文通讯作者.

E-mail: qiyj@upc.edu.cn