

基于本体的监控视频语义事件探测*

陈姣姣, 张晓如, 周永梅

(江苏科技大学 计算机科学与工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 为了探测视频高层复杂事件, 架构了一个视频事件分析框架, 采用本体和 Petri 网进行推理从而获取复合事件; 运用视频语义本体标注算法分析底层视频语义, 在高层构建一个视频事件分析本体, 将底层本体映射到事件分析本体表示高层视频事件; 通过本体和扩展 Petri 网结合的方法对监控视频中的事件进行图形化异步事件推理; 最后用 semantic Web rule language (SWRL) 规则表示视频监控事件的探测。实验证明, 提出的方法比基于模式识别的事件探测方法更加有效。

关键词: 事件分析本体; 复合事件; 推理规则; 概念标注; 监控视频

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0112-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.031

Semantic event detection based on ontology in surveillance video

CHEN Jiao-jiao, ZHANG Xiao-ru, ZHOU Yong-mei

(College of Computer Science & Engineering, Jiangsu University of Science & Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: To detect high-level and complex events, this paper constructed a new framework, inference using the combination of ontology and Petri net to detect composite events composed by simple events. After annotation with algorithms of video analyze ontology, proposed to build an video event analyze ontology in the higher level, map the video analyze ontology to event analyze ontology to describe the video of the event, combine ontology and extended Petri net to inference graphical and asynchronous over surveillance video events, and used SWRL rules to describe the detection of surveillance events. It verified that this method is more effective than pattern recognition method.

Key words: event analyze ontology; composite events; inference rules; concept annotation; surveillance video

事件检测是视频监控应用的重要目标。这个目标的实现需要一个普遍的事件表示方法对复杂事件进行表示和有效的识别算法对复杂事件进行识别。但是由于视频是非结构化信息, 在底层视觉特征上, 颜色、纹理、形状相近的视频从高层语义角度看可能相去甚远, 因此视频中的事件探测是一个富有挑战性的研究课题。

目前模式识别和机器学习技术被广泛应用于视频分析的各个阶段, 涉及到的方法有贝叶斯网络、动态贝叶斯网络、支持向量机(SVM)^[1]、隐马尔可夫模型、最大熵模型、决策树、神经网络和有限状态机^[2,3]等。基于这些方法的视频事件探测主要依赖训练数据所蕴涵的知识来构建探测系统, 需要大量的训练数据, 且这类系统不具备良好的知识扩展性。而基于语义模型的视频事件探测方法运用逻辑的方法对视频内容进行描述、推理, 进而判断事件的发生, 更易于理解, 并能自动找出适合于某些高级语义事件推理的底层特征。

Ghanem 等人^[4]用 Petri Net (PN) 对事件进行表示和推理, PN 有直观的图形表达方式, 能表达并发的时间, 但存在复杂的大系统有规模无限增大的问题。因此作者采用 high level Petri Net (HLPN)^[4]进行事件推理, 但底层特征和高级语义存在距离, 底层特征用 HLPN 进行表示难以直接描述高级语义。而本体辅之以图像分析和模式识别可以较好地解决语义“鸿沟”。

本体的开发旨在提供一个共同的词汇语义, 在编码水平克服信息语义二义性, 用支持推理的语言来表示信息。过去几

年, 本体和视频标注方面提出了很多不同的方法。Bertini 等人^[5]探讨了构造一个图片增强本体来自动标注足球视频剪辑, 并在视觉层次上检索进球等事件。这些可以在底层语义层次上对视频语义提供相对完整的标注, 但对于高层语义事件探测的推理方法的研究并未作深入考虑。高级语义通常是一个时空实体, 拥有时间和空间上的跨度。底层特征表达式维度高而复杂, 而且难以表达语义的不确定性。

本文设计了一个视频事件探测框架来探测视频语义中的复合事件, 基本思想如下:

- a) 利用已有的视频分析本体提取视频原子概念, 将其用于算法组成原子事件。
- b) 构建视频事件分析本体对视频中标注的概念进行分析, 对视频中的高层事件进行表示。
- c) 将本体的推理能力与 HLPN 的优点结合, 图形化地推理高层概念。

1 视频语义事件表示

1.1 监控视频结构

监控视频的结构为一个三层结构, 即低级特征层、中级语义描述层和高级事件层。低级特征层包括基本的视觉(如颜色、形状、纹理、运动等)、听觉和文本特征, 它们可以直接从视频数据中提取。中间层定义了对视频片段的描述, 称为关键

字,包括:a)视频关键字,如镜头类型、运动模式、纹理与形状描述、监控位置、监控目标位置与轨迹等;b)音频关键字,如打斗声以及静音等。框架的高层是一些语义实体,如视频的结构和内容、关键片断、特定语义事件等。事件被定义为用户感兴趣的具有一定上下文线索并符合特定领域知识模型的语义时空实体^[5]。

监控视频中需要进行表示和推理的中、高层关键概念有行为、对象、场景、时间、事件等以及概念相似度,定义如下:

定义1 中层概念。基本行为包括四类,分别为 appear、disappear、move、stop;对象 person、car、airplane...;场景 airport、park、residential quarters...;时间 during、before、after、at...。具体如表1所示。

表1 监控领域的主要概念

Concept	Description
video	video of a surveillance match
shot	a video comprise several shots
clip	video sequences filmed by camera
text	text that provides information
face	a human face
crowd	group of people
fight	people who have attack action
still	video with only background
car	a transport tool
bomb	explode because of gas or fire
bus station	a stop place for cars

通过中间层概念要推理出的高层语义事件概念包括原始事件和复合事件,定义如下:

定义2 高层概念。原始事件如 enter-car、exit-car、enter-region、exit-region;复合事件由原始事件或原语来描述,每个复合事件有一个关联对象和事件的集合,如 exchange-car、stop-region。

定义3 概念相似度。设 A 、 B 为字符串, $LD(A,B)$ 表示编辑距离, $LCS(A,B)$ 表示最长公共子串长度,概念相似度为 $S(A,B)$:

$$S(A,B) = LCS(A,B)/LD(A,B) + LCS(A,B) \quad (1)$$

1.2 事件探测框架

根据监控视频的事件结构特点,本文提出的视频事件探测框架如图1所示。

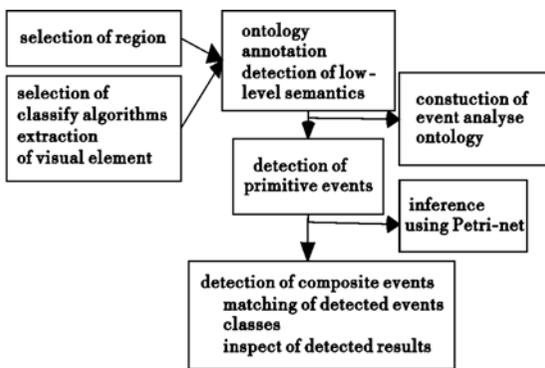


图1 事件探测框架

a)根据视频的低级特征层特点选取较理想的区域和合适的算法,应用视频处理方法如背景差分法、边缘识别法等对视频进行初步的分析。

b)利用原有的视频语义本体对视频中层概念进行表示和标注。

c)构建视频事件分析本体对视频高层事件进行表示,标注视频语义事件,通过本体的关联将概念进行低层到高层的

映射。

d)对原子事件和概念间的关系用 HLPN 进行图形化推理,探测复合事件,通过 SWRL 进行推理的表示。

1.3 视频事件分析本体的构建

为了对视频底层特征进行标注和分类,从而进行高层事件的推理,本文构造了一个视频事件分析本体 VEO(video event analyze ontology), $VEO = \langle O, E, E_f, E_{fp}, E_i, E_a, E_c, E_d \rangle$,利用 VEO 进行原子事件检测。视频事件分析本体的定义如下:

O 表示视频对象类(video object class),所有要检测的视频事件对象的基类。

E 表示事件类(event class),每个事件实例是特定事件实例及其时序关系的组合。

E_f 表示事件特征类(event feature class),视频底层事件语义特征,如运动趋势、剧烈程度、时间、空间特征、监控事件类型等。

E_i 表示事件限制类(event limit class),限定各种不同事件特性的值,如车速上限、刹车的最大距离等。

E_a 表示算法类(algorithm class),事件分析过程中的处理算法 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。

E_c 表示匹配规则类(detection class),检测可能匹配的事件序列及时序。

E_d 表示关联事件集合类(relevancy class),包括关联的事件及关联度。

定义4 事件表示。事件的一般形式化表示为 event($E(t), o, s, e$)。其中: $E(t)$ 代表事件的类型集合; o 代表视频对象的集合,对象为车或人; s 为动作的开始时刻; e 为动作的结束时刻。 $E(t)$ 的类型集合为定义1中行为类型的一定顺序的组合。

事件特征表示,事件的特征形式化表示定义为: event($E(t), o, s, e$)

定义5 关联度。设事件 E_i 和 E_j 关联的集合总数为 $TR \langle E_i, E_j \rangle$, $R \langle E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_j, \dots, E_n \rangle$ 表示 E_i 和 E_j 相关的集合, $R' \langle E_i, E_j \rangle$ 表示 E_i 的总关联集合,则关联度为两个事件间相互联系的程度,定义为 relevancy $\langle i, j \rangle$:

$$\text{relevancy} \langle i, j \rangle = \frac{R' \langle E_i, E_j \rangle}{TR \langle E_i, E_j \rangle} \quad (2)$$

关联度的性质有:

$$a) \text{relevancy} \langle i, i \rangle = \text{relevancy} \langle j, j \rangle = 1$$

$$b) \text{relevancy} \langle i, j \rangle \neq \text{relevancy} \langle j, i \rangle$$

$$c) \text{relevancy} \langle i, j \rangle + \text{relevancy} \langle j, k \rangle = \text{relevancy} \langle i, k \rangle$$

$$d) \text{relevancy} \langle i, j \rangle = \begin{cases} 1 & \text{fully-relevant} \\ 0 & \text{irrelevant} \\ (0,1) & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

定义6 关联度集合。设事件 E_i 与 E_1, E_k 等多个事件间有子集、交集、包含等关系,则形成关联事件集合。定义为

$$RS \langle R \langle E_i, E_j \rangle, R \langle E_i, E_k \rangle, \dots \rangle, RS \langle R \langle E_i, E_1 \rangle, \dots, R \langle E_i, E_k \rangle \rangle = \sum_{j=1}^k R \langle E_i, E_j \rangle \quad (4)$$

其中: k 为与 E_i 相关联的事件数目。

2 视频语义事件推理

2.1 基于事件分析本体的推理规则

本文事件检测规则及高层事件间关联的规则如下:

规则 1 算法执行规则。如果事件 E 具有特征 $\{E_{f_1}, E_{f_2}, \dots, E_{f_n}\}$, 那么算法 E_a 是检测 E 的步骤之一。

$$E_{f_1} \in F(E) \wedge E_{f_2} \in F(E) \wedge \dots \wedge E_{f_n} \in F(E) \rightarrow E \supseteq E_a = \{E_{a_1}, E_{a_2}, \dots, E_{a_n}\} \quad (5)$$

规则 2 参数选择规则。如果事件 E 有特征 E_f 且 E 以算法 E_a 作为探测步骤, 并且 E_a 有特征 E_f , 那么 E_a 和 E_f 有相同的输入参数值。

$$\forall E_f (E_f \in E) \wedge (E_f \in A) \wedge (E \supseteq E_a) \rightarrow \forall E_{f_p} (E_{f_p} \in P(A)) \exists E_{f_p} (E_{f_p} \in P(F)) \quad (6)$$

规则 3 事件执行顺序规则 1。如果事件 E_1 对事件 E_2 关联系数为 1 并且 E_2 事件包含候选事件集合 $E_s = \{E_{s_1}, E_{s_2}, \dots, E_{s_n}\}$, 那么 E_1 检测过程之前必须先执行算法集合 $A' = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。

$$E_1 \xrightarrow{0 < \text{relevancy}(E_1, E_2) < 1} E_2 = \{E_{21}, E_{22}, \dots, E_{2n}\} \wedge E_2 \supseteq E_s = \{E_{s_1}, E_{s_2}, \dots, E_{s_n}\} \rightarrow A' = \{A_1, A_2, \dots, A_n\} \xrightarrow{\text{executebefore}} E_1 \quad (7)$$

规则 4 事件执行顺序规则 2。如果事件 E_1 对事件 E_2 关联系数为 1, 那么执行 E_1 前必须先执行完 E_2 的所有检测步骤。

$$E_1 \xrightarrow{\text{relevancy}(E_1, E_2) = 1} E_2 \{E_2 = \{E_{21}, E_{22}, \dots, E_{2n}\}\} \rightarrow E_2 \xrightarrow{\text{executebefore}} E_1 \quad (8)$$

规则 5 事件执行顺序规则 3。如果事件 E_1 对事件 E_2 关联系数为 0, 那么执行 E_1 时不能执行 E_2 的任何操作。

$$E_1 \xrightarrow{\text{relevancy}(E_1, E_2) = 0} E_2 \{E_2 = \{E_{21}, E_{22}, \dots, E_{2n}\}\} \rightarrow E_2 \xrightarrow{\text{during}} E_1 \quad (9)$$

规则 6 时间关系规则。事件 E_i 的事件特征时间关系属性由事件限制类时间关系函数限定, 时间关系函数 $T(E_i) = L(t, T(E_d)), L(t, T(E_d)) = AT(E_d) + B, A$ 为系数矩阵, B 为常矩阵, $T(E_d)$ 为与 E_i 关联的事件集合的时间限定矩阵。

规则 7 空间关系规则。事件 E_i 的事件特征空间关系属性由事件限制类空间关系函数限定, 空间关系函数 $S(E_i) = L(s, S(E_d)), L(s, S(E_d)) = CT(E_d) + D, C$ 为系数矩阵, D 为常矩阵, $S(E_d)$ 为与 E_i 关联的事件集合的空间限定矩阵。

2.2 视频高层概念标注算法

本文的概念标注过程, 即视频语义本体到视频事件本体的映射过程如下:

a) 在 Bertini^[5] 及白亮等人^[6] 提出的视频语义本体的基础上, 检测视频中出现关键镜头的部分, 识别关键镜头^[5]。通过语义标注算法标注选择的视频剪辑, 用本体的视觉原型检查剪辑内容的相似性。

b) 利用本文的视频事件分析本体对中层概念进行处理, 对视频高层事件采用如下标注算法来对视频高层概念分类。

算法 1 高层原子概念生成。

输入: 已标注的视频中层概念集合 $M = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 待标注的视频 V 。

输出: 视频高层概念集合 $H = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 。

a) 提取每个视频的中层概念 $M = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$;

b) 计算每两个概念间的概念相似度 $S(A, B)$ 。

c) 取 $d(A, B) = \min\{|1 - S(A, B)|\}$, 将其对于概念存入集合 $H = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 。

d) 删除此概念, 在剩余的 $M = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 中重复步骤 c), 直到集合中概念个数为 5。

e) 将上面的集合作为最能代表视频高层概念的原子概念, 对每个概念类根据事件定义中原子概念按照时间、地点、对象(即什么人在什么对象做了什么事)结构进行组合排序。

f) 经过分类后的视频剪辑都被分到对应的类中, 通过本体的关联和集成及相应的视频事件分析本体相关联。概念本体间的基本关联^[7] 有 is-a、instance-of 和 part-whole 等。

3 基于本体和 HLPN 的推理实验

本文以一个换车事件为例, 展示了复合事件的推理过程。换车事件为在一个停车场, 某人从一辆车 C_0 换到另一辆车 C_1 。根据事件本体中事件的表示, 换车事件中的事件如下:

复合事件: $\text{event}(\text{exchange-car}, \{P_0, C_0, C_1\}, t_1, t_2)$

原子事件:

$E_1: \text{event}(\{\text{enter-region, stop-car}\}, \{C_0\}, t_3, t_4)$

$E_2: \text{event}(\{\text{enter-region, stop-car}\}, \{C_1\}, t_5, t_6)$

$E_3: \text{event}(\{\text{exit-region, exit-car}\}, \{P_0, C_0\}, t_7, t_8)$

$E_4: \text{event}(\{\text{enter-region, enter-car}\}, \{P_0, C_1\}, t_9, t_{10})$

$E_5: \text{event}(\{\text{exit-region}\}, \{C_1\}, t_{11}, t_{12})$

3.1 换车事件的本体与 HLPN 复合推理

由本体推理规则 1, 根据事件特征选择合适的算法, 并根据规则 2 确定输入参数, 按照事件执行顺序规则 1~3, 时间、空间关系规则和概念标注算法, 得到高层概念集合的一个复合思维习惯的有序排列; 再根据定义的高层复合事件, 按照知识推理规则, 确定其所属原子事件类, 将原子事件类映射到 PN 的节点, 将条件映射到箭头, 按照时序、空间限制条件触发相应的事件, 最终得到复合事件。将复合事件表示为对应的本体类, 从而完成事件探测。

推理过程中用到的知识推理规则有传递性、属性继承、性质继承、行为继承、实例的归属等。

原子事件之间通过 sameClassAs、samePropertyAs、inverseOf、equivalentTo 等形成概念间的同义、反义等语义关系; 通过 intersectionOf、unionOf、complementOf、oneof 等构建概念间的逻辑组合关系。而原子事件类到复合事件类则通过 subclass-Of、subPropertyof 形成概念及其关系的层次化结构。

对应的 HLPN 图形化推理过程如图 2 所示。

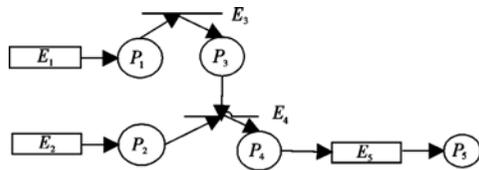


图2 换车事件在HLPN中的表示

当车 C_0, C_1 到达停车场触发 P_1 和 P_2, P_0 从车 C_0 出来则触发 P_3, P_2 和 P_3 匹配的条件是检测到原始事件“离开车”的人和 P_2 标记中的人匹配并且车要与 P_1 中的车匹配。

3.2 换车事件的 SWRL 形式化表示

由于本体是用 OWL 定义的, 所以采用 SWRL^[8] 规则对推理进行形式化的表示。事件的推理用 SWRL 语言进行表示可以更加有利于推理表示和高层视频语义事件的探测。根据 SWRL 的语法和规则得出的换车事件的 SWRL 描述如表 2 所示。

表 2 换车事件 SWRL 规则

Rule	Change-car events in SWRL
Change-car (? g) ^	instance of change-car
Temporal:hasStartTime(? Stc) ^	time of the change-car
Person (? p) ^	instance of person
Car (? C) ^	instance of car
Person exit car C0 (? E1) ^	instance of person_exit_car C0 E1
Person enter car C1(? E2) ^	instance of person_enter_car C1 E2
differentFrom(? E1,? E2) ^	the two cars have to be different
HasvalidPeriod(? E1,? VpE1) ^	time interval of E1
HasvalidPeriod(? E2,? VpE2) ^	time interval of E2
HasvalidPeriod(? s,? Vps) ^	time interval of change-car event
Car leave event(? e) ^	instance of car C1 leave E3
Temporal:hasFinishTime(? Vps,? Fts) ^	finish time of the change-car event
temporal:before(? Vpg,? Vpe) ^	time of E1 has to be before time of E2
temporal:before(? Vpg,? VpeE3) ^	time of E1 has to be before time of E3
temporal:duration(? diff, ? Stg,? Ftp,temporal:Seconds) ^	duration between start time of E2 and finish time of E1
Swrlx:createOWLThing(? x,? g)	creation of an instance x
→	then
Car leave(? x) ^	the instance x is leave car
Temporal:hasStartTime(? x, ? Stc) ^	start time of the car leave is the start time of change-car
Temporal:hasFinishTime (? x,? Ftc)	finish time of car leave is the finish time of change-car event

3.3 实验结果

下面是实验的细节,实验数据集是公共监控视频数据的正面拍摄图像,视频的分辨率为 388×288 。本文通过事件探测的准确率和召回率来验证提出的事件探测方法的性能,最后搜集大量的视频数据,对数据进行分析并通过实验来进行模拟和证明。结果如表 3 所示,实验结果显示,基于 HMM 的方法在查准率和查全率上都较低,而本文采用的方法利用本体的注释能力和本体及 HLPN 的推理能力获得了比较好的结果。

表 3 监控事件探测的实验结果

事件	停车	换车	行驶
本文方法准确率/%	82	89	86
本文方法召回率/%	74	73	60
HMM 准确率/%	63.80	61.50	59.20
HMM 召回率/%	72.50	64.90	67.30

针对现有的基于模式识别等的事件探测方法无法对视频高层复合语义事件进行有效探测的问题,本文提出了一种利用两层本体进行事件识别并结合 HLPN 进行语义推理的方案,SWRL 规则被用来对概念和概念的实例进行推理,用于监控视

(上接第 81 页)求,针对均值漂移算法和粒子滤波算法各自的优缺点进行了改进,并利用跟踪结果与真实目标的相似度作为判定条件进行两步跟踪。在相似度小于设定的阈值时,选择实时性高的均值漂移算法进行目标跟踪;在相似度小于设定的阈值时,选择粒子滤波算法进行下一步的跟踪,根据上一步均值漂移算法跟踪的结果在其附近采样部分粒子,然后利用粒子滤波的建议分布函数采样一部分粒子,这样既增强了粒子的可靠性,又不会因粒子数过少而产生退化现象。该算法在保留了均值漂移算法跟踪实时性的同时,也具有粒子滤波算法跟踪在遮挡情况下的鲁棒性等特点。

参考文献:

[1] DEGUCHI K, KAWANAKA O, OKATANI T. Object tracking by Mean-Shift of regional color distribution combined with the particle-filter algorithm [C]//Proc of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 506-509.

[2] KATO J, WATANABE T, JOGA S. An HMM/MRF based stochastic framework for robust vehicle tracking [J]. Intelligent Transportation Systems, 2004, 5(3): 142-154.

频复合事件的检测。基于换车视频事件检测的实验结果证明了算法的可行性和有效性。

4 结束语

以后的工作还应通过进一步提取更多的有效特征,进行更加丰富确定的语义概念描述,从而检测出更多的语义事件,并在多种视频数据上对该语义推理方案进行验证。另外还应完善视频事件分析本体,使其适用于其他领域的语义事件探测,并寻找更有效的推理方法探测视频事件。

参考文献:

[1] WANG Feng, JIANG Yu-gang, NGO C W. Video event detection using motion relativity and visual relatedness [C]//Proc of the ACM International Conference on Multimedia. New York: ACM Press, 2008: 239-248.

[2] 童晓峰,刘青山,卢汉清. 体育视频分析[J]. 计算机学报, 2008, 31(7): 1242-1251.

[3] 老松杨,白亮,刘海涛,等. 基于感知概念和有限状态机的体育视频语义内容分析模型[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(6): 1137-1141.

[4] GHANEM N, DeMENTHON D, DOERMANN D, et al. Representation and recognition of events in surveillance video using Petri nets [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. 2004: 112-112.

[5] BERTINI M, Del BIMBO A, TORNAI C. Enhanced ontologies for video annotation and retrieval [C]//Proc of the 7th ACM SIGMM International Workshop on Multimedia Information Retrieval. New York: ACM Press, 2005: 89-96.

[6] 白亮,刘海涛,老松杨,等. 基于本体的视频语义内容分析[J]. 计算机科学, 2009, 36(7): 170-174.

[7] 何飞,罗三定,沙莎. 基于领域本体的知识关联研究[J]. 湖南城市学院学报, 2005, 14(1): 69-71.

[8] BALLAN L, BERTINI M, Del BIMBO A, et al. Semantic annotation of soccer videos by visual instance clustering and spatial/temporal reasoning in ontologies [J]. Multimedia Tools and Applications, 2009, 48(2): 313-337.

[3] SHAN Cai-feng, WEI Yu-cheng, TAN Tie-niu, et al. Real-time hand tracking by combining particle filtering and Mean Shift [C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 669-674.

[4] BAI Ke-jian, LIU Wei-ming. Improved object tracking with particle filter and Mean-Shift [C]//Proc of International Conference on Automation and Logistics. 2007: 431-435.

[5] 胡宏宇,王殿海,李志慧,等. 基于视频监控的运动目标跟踪算法[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(12): 1683-1690.

[6] 马丽,常发亮,乔谊正. 基于均值漂移算法和粒子滤波算法的目标跟踪[J]. 模式识别与人工智能, 2006, 19(6): 787-793.

[7] 李红波,曾德龙,吴渝. 基于 Mean-Shift 和粒子滤波的两步多目标跟踪方法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(1): 112-121.

[8] COMANICIU D, RAMESH V, MEET P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.

[9] 周尚波,何革,柳玉炯. 一种改进的粒子滤波目标跟踪算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7): 2757-2759.