

基于直觉模糊集的不确定时序逻辑模型

申晓勇 雷英杰 周创明 杨少春

(空军工程大学导弹学院 三原 713800)

摘 要 针对现有时序逻辑在描述复杂不确定时间信息方面的局限性,提出了一种基于直觉模糊集的不确定时序逻辑模型。该模型分别定义了离散论域和连续论域下的不确定点时序逻辑、点-时段时序逻辑以及时段时序逻辑的判定公式;引入直觉模糊集的犹豫度参数,使得推理结果更加精确。最后通过实例对两类不确定时间信息进行描述,并对其时序逻辑关系的可能性进行度量。通过分析表明该模型是比较优越的。

关键词 直觉模糊集合,时序逻辑,时段时序逻辑,点时序逻辑

中图法分类号 TP182,TP391 **文献标识码** A

Uncertain Temporal Logic Model Based on Intuitionistic Fuzzy Sets

SHEN Xiao-yong LEI Ying-jie ZHOU Chuang-ming YANG Shao-chun

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract To the limitation of the description for complicated and uncertain temporal knowledge, an uncertain temporal logic based on intuitionistic fuzzy sets was proposed. The model defines the determinant formula of the point temporal logic, point-interval temporal logic and interval temporal logic in continuous domain and discrete domain. By adding hesitancy degree parameter, the reasoning result is more believable and precise. Finally, two kinds of the uncertain temporal knowledge were described and the possibility of all temporal relationship was measured by two instances, then it is indicated that the model is more predominant.

Keywords Intuitionistic fuzzy sets, Uncertain temporal logic, Interval temporal logic, Point-temporal logic

Allen 最先于 1983 年提出时段时序逻辑 (ITL, Interval Temporal Logic) 的概念^[1],而后进一步提出点-时段时序逻辑 (PITL, Point-interval temporal logic)。由于现实生活以及战场态势中,经常不能准确地确定事件发生的时间及其时态关系,有时只知道事件的大概发生时间,因此国内外学者提出多种描述时间关系的模型和分析方法^[2-9]。文献[2-4]在 PITL 的基础上,提出了扩展时段时序逻辑 (EITL, Extended interval temporal logic),它通过扩展时段结束的最早时刻和最晚时刻,能够表达对持续时间段结束时间不确定的情形。在实际情况下,由于系统的随机性、缺乏相关属性(参数)或信息不精确等,时段的开始时间也可能不能被预先确定下来,因此文献[5-7]定义模糊时间区间 $[a, b, c, d]$,其中子区间 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 分别表示不确定时段的起始时间和结束时间,从而能够全面描述时段的不确定情形。但是时间的不确定性往往不能单纯地通过四元组形式的梯形函数进行描述。文献[9]提出利用模糊集描述不确定时间区间,但是只讨论了离散论域下的隶属度函数及其关系运算,且存在隶属度单一的问题。

Atanassov 直觉模糊集 (Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS)^[10]是对 Zadeh 模糊集合最有影响的一种扩充和发展。IFS 增加了一个新的属性参数——非隶属度函数,进而可以描述“非此

非彼”的“模糊概念”,同时考虑隶属度、非隶属度与犹豫度 3 个方面的信息,在处理不确定信息时具有更强的表现能力,因而引起众多学者的关注^[11-13]。

鉴于此,本文通过定义在离散或连续论域的直觉模糊集合来描述不确定时间信息,构建一种不确定时序逻辑模型,使得描述更加符合实际,推理更加准确,从而解决未来战争和日常生活中的一些复杂不确定时间问题。

1 直觉模糊集理论

为了描述方便,首先给出直觉模糊集的定义。Atanassov 对直觉模糊集给出如下定义^[10]。

定义 1(直觉模糊集) 设 X 是一个给定论域,则 X 上的一个直觉模糊集 A 为

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \gamma_A(x), \pi_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

式中, $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$, $\gamma_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ 和 $\pi_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ 分别代表 A 的隶属函数 $\mu_A(x)$ 、非隶属函数 $\gamma_A(x)$ 和直觉指数 $\pi_A(x)$,且对于 A 上的所有 $x \in X$, $0 \leq \mu_A(x) + \gamma_A(x) + \pi_A(x) \leq 1$ 均成立。

当 X 为连续空间时, $A = \int_X \langle \mu_A(x), \gamma_A(x) \rangle / x, x \in X$;

到稿日期:2009-06-03 返修日期:2009-08-25 本文受国家自然科学基金资助项目 (No. 60773209), 陕西省自然科学基金资助项目 (No. 2006F18) 资助。

申晓勇 (1982—), 男, 博士生, 主要从事智能信息处理研究, E-mail: yuzhong25@163.com; 雷英杰 (1956—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事智能信息处理与军用软件工程等研究。

当 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为离散空间时, $A = \sum_{i=1}^n \langle \mu_A(x_i), \gamma_A(x_i) \rangle / x_i, x_i \in X$ 。

对于 X 中的每一个直觉模糊子集, 称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \gamma_A(x)$ 为 A 中 x 的直觉指数(Intuitionistic Index), 它是 x 对 A 的犹豫程度(Hesitancy degree)的一种测度。显然, 对于每一个 $x \in X, 0 \leq \pi_A(x) \leq 1$; 对于 X 中的每一个一般模糊子集 $A, \pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - [1 - \mu_A(x)] = 0, \forall x \in X$ 。

通过加入犹豫度参数, 利用 $\mu_A(x) + \pi_A(x)/2$ 刻画事物的隶属信息, $\gamma_A(x) + \pi_A(x)/2$ 刻画事物的非隶属信息, 较单一的隶属度对客观世界的描述更加细腻。

2 不确定时序逻辑模型

由于点时序逻辑只是时段时序逻辑在起始时间和结束时间落在同一区间的特殊情况, 故只需研究时段时序逻辑即可。下面给出基于直觉模糊集的不确定时间区间的定义及其时序逻辑的判定方法。

2.1 不确定时间段的定义

时间段由开始时刻和结束时刻两个不确定的时刻限制, 开始时刻的区间与结束时刻的区间可能会出现重叠, 这样可以表达更加复杂的不确定时间信息。

定义 2(不确定时间段) 假设开始时刻落在区间 α 上, 结束时刻落在区间 β 上, 则不确定时间区间 T 表示为

$$T = (\langle \alpha, \beta \rangle, A(i), B(j)) \quad (2)$$

式中, $i \in \alpha, j \in \beta; A(i)$ 表示开始时刻落在区间 α 上的直觉模糊集, $A(i) = \{ \langle i, \mu_A(i), \gamma_A(i), \pi_A(i) \rangle \mid i \in \alpha \}; B(j)$ 表示结束时刻落在区间 β 上的直觉模糊集, $B(j) = \{ \langle j, \mu_B(j), \gamma_B(j), \pi_B(j) \rangle \mid j \in \beta \}$ 。

在某一时刻 i 或 j , 当 $\mu_A(i) + \pi_A(i)/2$ 接近于 1 时, 表示事件在 i 时刻开始的可能性很大; 同样, $\mu_B(j) + \pi_B(j)/2$ 接近于 1 时, 表示事件在 j 时刻结束的可能性很大; 而当 $\gamma_A(i) + \pi_A(i)/2$ 接近于 1 时, 表示事件在 i 时刻开始的可能性很小; 同样, $\gamma_B(j) + \pi_B(j)/2$ 接近于 1 时, 表示事件在 j 时刻结束的可能性很小。

特别地, 当

$$\begin{cases} \mu_A(i) + \pi_A(i)/2 = 1, \mu_B(j) + \pi_B(j)/2 = 1, & \text{if } i = m, j = n \\ \mu_A(i) + \pi_A(i)/2 = 0, \mu_B(j) + \pi_B(j)/2 = 0, & \text{if } i \neq m, j \neq n \end{cases}$$

不确定时间区间转化为确定的时间区间 $\langle m, n \rangle$; 当 $\alpha = \beta, A(i) = B(j)$, 则定义 2 表示不确定时刻 α 落在时刻 α 上的直觉模糊集为 $A(i)$ 。可见, 确定的时间区间以及不确定时刻均是不确定时间区间的特殊形式。

2.2 不确定时序逻辑的判定

考虑到实际应用中, 有时候需要关注两个不确定时刻或者时段之间的时序逻辑以及不确定时刻和不确定时段的时序逻辑, 下面分 3 部分进行讨论。

2.2.1 不确定点时序逻辑

假设两个不确定时刻分别为 $T_1 = (\alpha, A(i)), T_2 = (\beta, B(j))$, 其中 $\alpha = [t_1, t_2], \beta = [t_3, t_4], i \in [t_1, t_2], j \in [t_3, t_4]$; 不确定点时序逻辑关系是以 R 为论域的模糊集, 即其关系存在着多种可能性, 其中 $R = \{ \text{早于}(i < j), \text{迟于}(i > j), \text{相等}(i = j) \}$ 。隶属度 μ_r 表示两个不确定点时序逻辑关系为 r 的可能性大小, $\mu_r \in [0, 1]$ 。

由于隶属度函数和犹豫度函数可能在离散论域, 也可能

在连续论域, 故需要分情况讨论。

(1) 离散论域

$$\mu_r = \frac{\sum_{i,j} [\mu_A(i) + \pi_A(i)/2] \cdot [\mu_B(j) + \pi_B(j)/2]}{\sum_{i,j} [\mu_A(i) + \pi_A(i)/2] \cdot [\mu_B(j) + \pi_B(j)/2]} \quad (3)$$

式中, i, j 表示区间 α 与区间 β 中各取一个时间点, 两时间点满足关系 r 。比如, 对于关系“早于”, $i, j = i < j$; 对于操作符“ $\circ$ ”可以根据实际情况进行定义, 一般可以将其定义为 $a \circ b = (a+b)/2$ 或者 $a \circ b = a \cdot b$ 或者 $a \circ b = \sqrt{a^2 \cdot b^2}$ 等。

(2) 连续论域

$$\mu_r = \frac{\iint_{D_r} [\mu_A(i) + \pi_A(i)/2] \cdot [\mu_B(j) + \pi_B(j)/2] di dj}{\iint_D [\mu_A(i) + \pi_A(i)/2] \cdot [\mu_B(j) + \pi_B(j)/2] di dj} \quad (4)$$

式中, 积分区域 D 可以用不等式 $t_1 \leq i \leq t_2, t_3 \leq j \leq t_4$ 来表示; 积分区域 D_r 表示区间 α 与区间 β 中各取一个时间点, 两时间点满足关系 r 。对于该积分区域需要分情况讨论。

$$D_r = \begin{cases} D \text{ 或 } 0, & \text{if } t_2 < t_3 \text{ 或 } t_4 < t_1 \text{ 相离} \\ i = t_2, j = t_3 \text{ 或 } i = t_1, j = t_4, & \text{if } t_2 = t_3 \text{ 或 } t_4 = t_1 \text{ 相接} \\ \min(t_1, t_3) \leq i \leq \max(t_1, t_3), \max(t_1, t_3) \leq j \leq \\ (\text{if } \max(t_1, t_3) = t_1 \text{ then } t_2 \text{ else } t_4) \\ \& \max(t_1, t_3) \leq i, j \leq \min(t_2, t_4) \& \\ \min(t_2, t_4) \leq i \leq \max(t_2, t_4), (\text{if } \min(t_2, t_4) = t_2 \\ \text{then } t_1 \text{ else } t_3) \leq j \leq \min(t_2, t_4), & \text{if 其它 交叉} \end{cases} \quad (5)$$

通过式(3)或者式(4)可以获取 R 中各种关系存在的可能性, 根据实际情况给出最终的判断结果。一般取其可能性最大的逻辑关系作为求解答案。

2.2.2 不确定点-时段时序逻辑

假设一个不确定时刻 $T_1 = (\alpha, A(k))$, 一个不确定时段 $T_2 = (\langle \beta, \eta \rangle, B(i), C(j))$, 其中 $\alpha = [t_1, t_2], \beta = [t_3, t_4], \eta = [t_5, t_6], k \in [t_1, t_2], i \in [t_3, t_4], j \in [t_5, t_6]$; $B(i)$ 表示开始时刻落在区间 β 上的直觉模糊集, $C(j)$ 表示结束时刻落在区间 η 上的直觉模糊集; 不确定点-时段时序逻辑关系是以 R 为论域的模糊集, 其中 $R = \{ \text{早于}(k < i), \text{迟于}(k > j), \text{包含}(i \leq k \leq j) \}$, 隶属度 μ_r 表示不确定点与不确定时段时序逻辑关系为 r 的可能性大小, $\mu_r \in [0, 1]$ 。

对于关系“早于”与“迟于”可以通过式(3)或式(4)进行计算, 而对于关系“包含”定义如下。

(1) 离散论域

$$\mu_r = \frac{\sum_{k \geq i} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_B(i) + \pi_B(i)/2]}{\sum_{k \geq i} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_B(i) + \pi_B(i)/2]} \times \frac{\sum_{k \leq j} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_C(j) + \pi_C(j)/2]}{\sum_{k \leq j} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_C(j) + \pi_C(j)/2]} \quad (6)$$

式中, $k \geq i$ 表示区间 α 与区间 β 中各取一个时间点 k 与 i , 两时间点满足关系 $k \geq i$; 对于操作符“ $\circ$ ”可以根据实际情况进行定义, 如上所述。

(2) 连续论域

$$\mu_r = \frac{\iint_{D_{k \geq i}} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_B(i) + \pi_B(i)/2] dk di}{\iint_{D_1} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_B(i) + \pi_B(i)/2] dk di} \times$$

$$\frac{\int_{D_{k \leq j}} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_C(j) + \pi_C(j)/2] dk dj}{\int_{D_2} [\mu_A(k) + \pi_A(k)/2] \cdot [\mu_C(j) + \pi_C(j)/2] dk dj} \quad (7)$$

式中,积分区域 D_1 可以用不等式 $t_1 \leq k \leq t_2, t_3 \leq i \leq t_4$ 来表示,积分区域 D_2 可以用不等式 $t_1 \leq k \leq t_2, t_5 \leq j \leq t_6$ 来表示;积分区域 $D_{k \geq i}$ 表示区间 α 与区间 β 中各取一个时间点,两时间点满足关系 $k \geq i$;积分区域 $D_{k \leq j}$ 表示区间 α 与区间 η 中各取一个时间点,两时间点满足关系 $k \leq j$ 。对于两个积分区域可以根据式(5)进行计算。

2.2.3 不确定时段时序逻辑

假设两个不确定时段分别为 $T_1 = (\langle \alpha, \beta \rangle, A(i), B(j))$, $T_2 = (\langle \eta, \zeta \rangle, C(k), D(l))$, 其中 $\alpha = [t_1, t_2]$, $\beta = [t_3, t_4]$, $\eta = [t_5, t_6]$, $\zeta = [t_7, t_8]$, $i \in [t_1, t_2]$, $j \in [t_3, t_4]$, $k \in [t_5, t_6]$, $l \in [t_7, t_8]$, 各个参数的含义见定义 2。不确定时段时序逻辑关系同样是以 R 为论域的模糊集,其中 R 及其对应条件如表 1 所列。

表 1 不确定时段时序逻辑条件表

时段时序逻辑关系	条件	隶属度
T_1 after T_2	$i > l$	μ_{after}
T_1 before T_2	$j < k$	μ_{before}
T_1 meet-by T_2	$i = l$	$\mu_{\text{meet-by}}$
T_1 meets T_2	$j = k$	μ_{meets}
T_1 overlapped-by T_2	$k \leq i$ & $i \leq l$	$\mu_{\text{overlapped-by}}$
T_1 overlaps T_2	$i \leq k$ & $k \leq j$	μ_{overlaps}
T_1 starts T_2	$i = k$ & $j \leq l$	μ_{starts}
T_1 started-by T_2	$i = k$ & $l \leq j$	$\mu_{\text{started-by}}$
T_1 ends T_2	$j = l$ & $k \leq i$	μ_{ends}
T_1 ends-by T_2	$j = l$ & $i \leq k$	$\mu_{\text{ends-by}}$
T_1 during T_2	$k \leq i$ & $j \leq l$	μ_{during}
T_1 includes T_2	$i \leq k$ & $l \leq j$	μ_{includes}
T_1 equals T_2	$i = k$ & $j = l$	μ_{equals}

判定两个不确定时段的时序逻辑关系,根据表 1 中开始时刻与结束时刻之间的条件进行计算。如果只有一个条件,则可以按照式(3)或者式(4)进行计算;如果有两个条件,则按照式(6)或者式(7)进行计算。即不确定时段逻辑的判断可以转换为对点时序逻辑的判断。

3 算例分析

下面通过两个例子来验证本文所提出的不确定时序逻辑的判定方法的可行性和优越性。

例 1(离散论域) 假设有两个不确定时间段, $T_1 = (\langle \alpha, \beta \rangle, A(i), B(j))$, $T_2 = (\langle \eta, \zeta \rangle, C(k), D(l))$, 其中 $\alpha = [1, 3]$, $\beta = [2, 4]$, $\eta = [2, 3]$, $\zeta = [3, 5]$, $A = \langle 0.85, 0.15 \rangle / 1 + \langle 0.65, 0.25 \rangle / 2 + \langle 0.3, 0.6 \rangle / 3$; $B = \langle 0.5, 0.4 \rangle / 2 + \langle 0.8, 0.1 \rangle / 3 + \langle 0.35, 0.65 \rangle / 4$; $C = \langle 0.8, 0.1 \rangle / 2 + \langle 0.5, 0.4 \rangle / 3$; $D = \langle 0.2, 0.7 \rangle / 3 + \langle 0.5, 0.4 \rangle / 4 + \langle 0.9, 0.1 \rangle / 5$ 。定义操作符“ $\circ$ ”为 $a \circ b = (a + b) / 2$, 根据本文提到的方法进行计算,各个时序逻辑关系的可能性如表 2 所列。

表 2 离散论域下时序逻辑关系的可能性度量

时段时序逻辑关系	可能性
T_1 after T_2	0
T_1 before T_2	0.1200
T_1 meet-by T_2	0.0271

T_1 meets T_2	0.3710
T_1 overlapped-by T_2	0.4079
T_1 overlaps T_2	0.7816
T_1 starts T_2	0.2864
T_1 started-by T_2	0.0515
T_1 ends T_2	0.0577
T_1 ends-by T_2	0.1255
T_1 during T_2	0.3946
T_1 includes T_2	0.0710
T_1 equals T_2	0.0418

从表 2 中可以看出, T_1 与 T_2 最可能的时序逻辑关系是“overlaps”,其可能性是 0.7816;其次为“overlapped-by”,可能性是 0.4079。

例 2(连续论域) 假设有两个不确定时间段, $T_1 = (\langle \alpha, \beta \rangle, A(i), B(j))$, $T_2 = (\langle \eta, \zeta \rangle, C(k), D(l))$, 其中 $\alpha = [1, 3]$, $\beta = [2, 4]$, $\eta = [2, 3]$, $\zeta = [3, 5]$, 犹豫度均为常数 0, 有 $\mu_A(i) = \begin{cases} i-1, & 1 \leq i \leq 2 \\ -i+3, & 2 \leq i \leq 3 \end{cases}$, $\mu_B(j) = 0.5j - 1 (2 \leq j \leq 4)$, $\mu_C(k) = k^2 / 8 - 1 (2 \leq k \leq 3)$, $\mu_D(l) = -l/3 + 2 (3 \leq l \leq 5)$, 定义操作符“ $\circ$ ”为 $a \circ b = (a + b) / 2$, 根据本文提到的方法进行计算,各个时序逻辑关系的可能性如表 3 所列。

表 3 连续论域下时序逻辑关系的可能性度量

时段时序逻辑关系	可能性
T_1 after T_2	0
T_1 before T_2	0.3520
T_1 meet-by T_2	0.0071
T_1 meets T_2	0.1210
T_1 overlapped-by T_2	0.2653
T_1 overlaps T_2	0.6243
T_1 starts T_2	0.2818
T_1 started-by T_2	0.0316
T_1 ends T_2	0.0678
T_1 ends-by T_2	0.0975
T_1 during T_2	0.2542
T_1 includes T_2	0.0210
T_1 equals T_2	0.2168

从表 3 中可以看出, T_1 与 T_2 最可能的时序逻辑关系是“overlaps”,其可能性是 0.6243;其次为“before”,可能性是 0.3520。

可见,本文提出的不确定时序逻辑模型不论在离散论域还是在连续论域都能适用,而且由于引入犹豫度参数,使得推理的结果更加精确。

结束语 通过实例验证分析,本文提出的基于直觉模糊集的不确定时序逻辑模型不仅可以描述各种定义在不同论域的、复杂的不确定时间信息,而且引入了直觉模糊集的犹豫度参数,使得推理结果更加精确。本方法丰富了直觉模糊集合理论,拓宽了其应用范围,解决了目前复杂的不确定时序逻辑描述问题,在多媒体传输同步、系统测试、 workflow 模型以及态势评估等应用领域有很好的发展前景。而如何更好地利用该时序逻辑进行时间推理,将是下一步的研究重点。

参考文献

- [1] Allen J F. Maintaining knowledge about temporal intervals[J]. Communications of ACM, 1983, 26(11): 832-843
- [2] 林闯, 曲扬, 李雅娟. 扩展时段时序逻辑的模型、一致性和推理[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1338-1347

(下转第 273 页)

块。选择一幅 22×64 的二值图像作为水印信号。

图 1 为测试序列 foreman 在量化参数 $QP=28, 36$ 时嵌入水印后所截得的视频帧, 其中, 图(a)、图(c)为嵌入水印前, 图(b)、图(d)为嵌入水印后。由此可见, 嵌入前、后图像视觉差异几乎可以忽略。

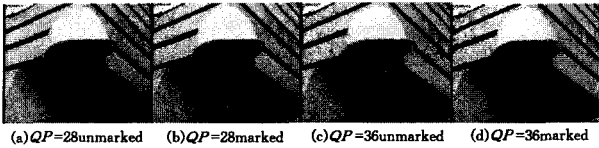


图 1 嵌入水印前后 I 帧图像对比($R_D=0.002$)

图 2 给出了水印前后对视频序列的质量影响情况, 图的横坐标为帧号, 纵坐标为峰值信噪比, 表示水印嵌入后图像的失真度。可以看到 $PSNR \geq 30\text{dB}$, 水印引起的视频序列质量下降最多为 0.3, 表明本文提出的水印算法可以保证视频的质量。

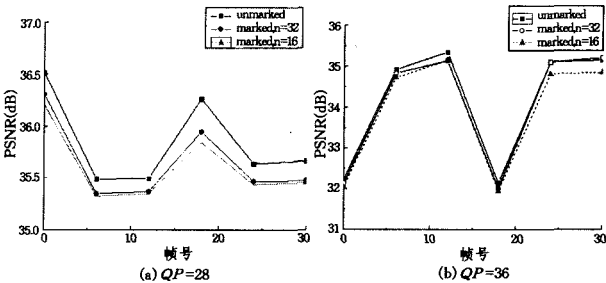


图 2 $QP=28, 36$ 时嵌入水印前后视频质量($R_D=0.002$)

表 1 给出了嵌入水印前后不同图像码率的变化情况。可以看到水印前后码率的变化并不大, 相对变化率((水印后视频码率-水印前视频码率)/水印前视频码率)在 0.4%~0.3%之间, 几乎可以忽略, 满足码率稳定的要求。

表 1 水印前后平均码率变化(kbps)

QP	水印前视频码率	水印后视频码率	码率相对变化率(%)
28	850.08	853.22	0.37
36	753.04	755.54	0.33

为了客观评价所提取的水印序列, 采用归一化相关系数来衡量原始水印 b 和提取的水印 b' 的相似度, 定义为:

$$\rho(b, b') = \frac{\sum_{j=0}^{L-1} b_j b'_j}{\sqrt{\sum_{j=0}^{L-1} b_j^2} \sqrt{\sum_{j=0}^{L-1} b'^j_2}} \quad (6)$$

式中, ρ 的取值在 0~1 之间。 $\rho=1$ 代表嵌入的水印信息全部

被正确检测出来。 ρ 的值越大, 受攻击后 ρ 的变化越小, 代表水印的鲁棒性越强。

表 2 为量化参数 $QP=28$ 和 36 的 foreman 水印序列重编码提取水印相似度。由表 2 可见, 经重量化编码后, 从 I 帧提取的水印相似度很大, $\rho(b, b')=1$ 的概率 $\geq 87.5\%$, 即说明水印对重量化攻击具有良好的鲁棒性。

表 2 foreman 水印序列重编码提取水印相似度(ρ)

QP	I 帧帧号							
	0	4	8	12	16	20	24	28
28	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	0.98	1	1	1	0.96	0.99

结束语 本文提出了一种基于能量差比率的 DEW 视频水印算法, 该算法选择在 I 帧视频图像块能量(纹理)分布均匀的区域嵌入水印, 每个 I 帧中嵌入的水印相同。实验结果证明, 该算法水印鲁棒性好, 码率稳定, 具有较高的保真度, 而且, 水印提取并不需要原始视频, 为盲提取过程。

参考文献

- [1] Langelaar G C, Lagendijk R L. Optimal differential energy watermarking of DCT encoded images and video [J]. IEEE Transactions on Image processing, 2001, 10(1): 148-158
- [2] Setyawan I, Lagendijk R L. Extended differential energy watermarking (XDEW) algorithm for low bitrate video watermarking [C] // Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging. 2001
- [3] Setyawan I, Lagendijk R L. Low bitrate video watermarking using temporally extended differential energy watermarking (DEW) algorithm [C] // Proceedings of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents III. 2001, 4314: 73284
- [4] 周伟. 鲁棒与半脆弱的数字水印研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2006
- [5] Da Y, Thiemert S, Steinebach M. Feature-based watermarking scheme for MPEG-I/II video authentication [C] // SPIE 2004. 2004: 5306
- [6] Jordan, Kutter M, Ebrahimi T. Proposal of watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video [C] // ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. 1997
- [7] 凌贺飞, 卢正鼎, 邹复好. 基于 MPEG 的实时视频水印技术 [J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(12): 2181-2185
- [8] 莫佳, 谭素琴. 一种基于矩阵分解的脆弱水印算法 [J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2009, 23(5): 107-110, 120

(上接第 189 页)

- [3] 林闯, 刘婷, 曲扬. 一种不确定时段的扩展时段时序逻辑: 时间 Petri 网表示和线性推理 [J]. 计算机学报, 2001, 24(12): 1299-1309
- [4] 刘婷, 林闯, 刘卫东. 扩展时段时序逻辑的推理机制 [J]. 计算机学报, 2002, 25(6): 637-644
- [5] 马军霞. 一类时间不确定性问题的处理 [D]. 郑州: 郑州大学, 2007
- [6] 杜彦华. 基于 EFTPN 不确定时间知识的分析处理及其在铁路中的应用 [D]. 北京: 铁道科学研究院, 2006
- [7] 董玉梅, 张力臣. 模糊时间 Petri 网及扩展的模糊时间 Petri 网 [J]. 计算机科学, 2005, 32(11): 241-246
- [8] Schockaert S, De Cock M, Kerre E E. Fuzzifying Allen's Tem-

- poral Interval Relations [J]. Transactions on fuzzy systems, 2008, 16(2): 517-533
- [9] 莫孙冶, 林嘉宜, 彭宏. 基于模糊集的不确定时间的表示及时态关系 [J]. 计算机工程, 2005, 31(18): 197-199
- [10] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96
- [11] 雷英杰, 王宝树, 路艳丽. 基于直觉模糊逻辑的近似推理方法 [J]. 控制与决策, 2006, 21(3): 305-310
- [12] 邢清华, 刘付显. 直觉模糊集隶属度与非隶属度函数的确定方法 [J]. 控制与决策, 2009, 24(3): 393-397
- [13] Vlachos I K, Sergiadis G D. Intuitionistic fuzzy information-Applications to pattern recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28: 197-206