

基于动量动力学模型的行人关系分析^①

张旭光^② 吴格非 唐英千

(燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

摘 要 进行了行人行为分析及行人关系研究。考虑到在机器视觉领域大多数研究仅关注于目标行为分类与识别,而目标间因果关系判别研究较少,且现有理论停留在心理学领域中的因果关系表达,提出了一种基于动量动力学模型的目标间因果关系识别方法,用于实现行人间因果关系的识别及量化计算。该方法利用 Cam shift 算法获得目标在视频中的位置并依据因果概念,构建动量动力模型,然后基于动量动力模型进行因果关系判别,最后计算因果值。根据因果值范围识别出视频行人间的三种因果关系:导致、促进和阻碍。实验表明,上述方法可以在视频监控条件下识别两运动行人间的因果关系。

关键词 视频分析, 行人行为分析, 因果关系, 社会力

0 引 言

在行人行为分析领域,行为识别、分类及行人属性识别等相关研究已有多年历史。1975 年 Johansson^[1]提出了描述行为的点模型方法,对后来基于人体结构的行为描述算法起到了重要的指导作用。Turaga^[2]等人将人体行为识别分为三部分,即移动识别、动作识别和行为识别。Gavrila^[3]采用 2D 和 3D 方法来分别研究人体的行为。除了对于单个行人行为的研究之外,行人的群体行为研究也很热门。Ni^[4]等将人群行为的因果关系分为 3 类:自因果、配对因果和群因果,通过分段的行为路径来计算因果特征。李楠^[5]等人利用拓扑简化和聚类算法提取出人群运动的宏观行为信息,检测人群中发生的各种异常事件。虽然,国内外学者有关行人行为分析的研究已有丰富成果,但是目前还是局限在行人行为本身去思考和分析问题,对于行为的形成相互关联性鲜有研究。心理学家 Talmy^[6]等人对自然界物体间的联系进行归纳,并依照一定规律分类,形成了

用以描述自然界中广泛存在的事物间因果联系的理论。Wolff^[7]在 Talmy 的研究基础上,提出了动力学模型,将因果关系用力学模型来表达。这些学者经过多年研究^[8,9],将因果关系概括为三类^[10],即导致、促进和阻碍。其中“导致”表示,当目标 A 与目标 B 相遇时在 B 的影响下运动方向发生改变所建立的因果关系;“促进”表示,目标 A 在目标 B 影响下运动速率增加、方向不变时所建立的因果关系,“阻碍”表示,目标 A 在目标 B 影响下运动速率减小、方向不变时所建立的因果关系。

因果关系理论经过多年的发展,如今分为三大类别,分别是心理学模型^[11]理论、动因模型理论^[12]和力学模型理论^[13-15]。心理学模型理论通过逻辑推理的形式描述三种因果关系;动因模型理论则是基于因果贝叶斯网络分析所构建的理论^[16,17];力学模型理论是基于学者 Talmy 于 1988 年提出的力动力学模型^[4]所建立的,该方法通过力学矢量关系描述该三种因果关系。此后,基于力动力学模型,Wolff 于 2002 年提出了动力学模型^[5,18],通过分析目标间作用力矢量,构建模型,识别事物间因果关

① 国家自然科学基金(61271409, 61273260),中国博士后科学基金(2012M510768, 2013T60264)和河北省自然科学基金(F2013203364)资助项目。
② 男,1978 年生,博士;研究方向:视频与图像分析;联系人,E-mail: zhangxg@ysu.edu.cn
(收稿日期:2016-10-14)

系。然而以上的模型所表达的因果关系仅被用到心理学研究。由于模型中各个概念难以在现实情况下准确表达,这几种模型都未能实现因果关系在视频监控领域的分析^[19-22]。本文将因果关系概念与动量定理及社会力^[23,24]相结合,提出了基于动量定理的因果认知模型,用于进行行人目标间因果关系识别和分析,探究行人行为形成的原因。具体方法包括三个步骤:首先依据目标跟踪算法获得目标运动位置信息^[25-27],并依据因果关系构建动量动力学模型;然后提出基于动量动力学模型的因果关系判断条件;最后根据动量模型及改进的因果关系判断条件分析识别视频中行人间的因果关系。

1 动量动力学因果模型建立

无论是力学理论模型还是动力学模型,都对描述因果关系起到了积极的作用,但这些模型,对于因果理论的描述都侧重于概念。考虑到对行人因果关系的描述需要与实际相结合,而 Wolff 的动力学模型中受力者的前进动力难以准确定义,因此本文提出了基于动量定理和社会力的新模型,对现实中分析行人关系有良好的适用性。

1.1 因果关系概述

如引言所述,因果关系有导致、促进、阻碍三种。Talmy 提出了用力学概念描述三种因果关系,并对因果关系的判断定义了如表 1 所示的相应条件^[4,9]。

基于此判断条件,Wolff 在 Talmy 的基础上发展改进,提出了动力学模型,该模型中含有四个要素分别为:目标所受外力,自身产生的前进动力,前两者的合力以及目标所到达的最终位置。

表 1 导致、促进和阻碍判定条件

	初始方向 是否与最终 方向一致	外力方向 是否与初始 方向一致	合力方向 是否与最终 方向一致
导致	否	否	是
促进	是	是	是
阻碍	是	否	否

当然,无论是 Talmy 还是 Wolff 提出的模型都难以直接应用到视频分析领域。本文提出的动量动力学模型同样包含了四种要素,如图 1 所示,分别为目标行人初始动量 $\vec{p}_0$,所受其他行人排斥力的冲量 $\vec{I}$,动量定理计算所得预测末动量 $\vec{p}_{pre}$ 以及实际测量所得末动量 $\vec{p}_{s-n}$ 。

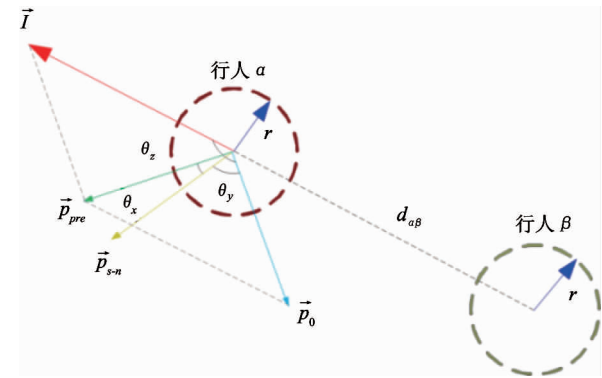


图 1 动量动力学模型

1.2 初始动量的确定

行人正常行走时处于惯性状态^[28],此时设定目标行人 α 的初始动量为 $\vec{p}_0$,其具体计算方法如下:

首先根据 Cam shift 跟踪算法可获得行人 α 的位置信息,计算行人 α 每两帧间行人的位置差值,即为行人每一帧的运动速度。 $\vec{p}_0$ 具体值可根据公式

$$\vec{p}_i = m \frac{\sum_{j=i}^{i+n} \frac{(O_{j+1} - O_j)}{t}}{n} \tag{1}$$

求得,其中 $O_j(j = 1, \cdots, n)$ 表示视频中当前帧的目标质心位置,可由目标跟踪算法获得; n 表示视频序列长度,由实际视频序列长度决定; t 表示每帧的时间。

1.3 冲量的确定

根据因果关系理论,行人运动发生变化可能是受到其他行人对他产生的影响造成的,该影响可表示成一种冲量的影响,具体的计算过程如下。

对于冲力的确定,本文实验了多种方法,最终发现社会力模型对动量定理有很好的适应性,这是因为社会力是以牛顿力学原理为基础提出的用于行人行为分析的理论。

由于小规模人群中行人的运动不常发生肢体接

触的碰撞现象,因而可忽略社会力模型中自驱动力以及排斥力的物理力部分,只采用心理力作为冲力的基本模型,其公式如下:

$$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha} \exp\left[\frac{(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})}{B_{\alpha}}\right] \vec{n}_{\alpha\beta} \quad (2)$$

其中 A_{α} 和 B_{α} 是常数,分别表示行人 α 与其他行人的相互作用强度和作用范围, A_{α} 的单位是牛顿, B_{α} 是范围常数,可根据实验的实际情况取值。 $r_{\alpha\beta}$ 是相互作用的两行人肩宽的和; $d_{\alpha\beta}$ 是行人间距离; $\vec{n}_{\alpha\beta}$ 是由行人 β 指向行人 α 的单位向量。行人的半径取肩宽 $[0.5, 0.7]$ 的均匀分布。

为了使模型有更好的适应性,我们需要对冲力做适当的改进,考虑到行人受到他人的影响方向不同(正面 > 侧面 > 后面),增加方向权重^[29,30] $g(\lambda)$, 其表示为

$$g(\lambda) = \lambda + (1 - \lambda) \frac{1 + \cos\varphi}{2} \quad (3)$$

其中 λ 为方向权重系数,取值范围是 $[0, 1]$; φ 为行人运动方向与他人对行人冲力方向的夹角。因此改进后冲力为

$$\vec{f}_{\alpha\beta} = A_{\alpha} \exp\left[\frac{(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})}{B_{\alpha}}\right] \left(\lambda + (1 - \lambda) \left(\frac{1 + \cos\varphi}{2}\right)\right) \vec{n}_{\alpha\beta} \quad (4)$$

当行人间距离过大时,两行人间无影响,此时冲力应该为0,又冲量 $\vec{I} = \vec{f}_{\alpha\beta} \Delta t$, 可得最终冲量函数模型如下:

$$\vec{I} = \begin{cases} A_{\alpha} \exp\left[\frac{(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})}{B_{\alpha}}\right] \left(\lambda + (1 - \lambda) \left(\frac{1 + \cos\varphi}{2}\right)\right) \vec{n}_{\alpha\beta} \Delta t, & d_{\alpha\beta} < l \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中 l 为因果影响范围参数,取值根据实际情况确定。 $\vec{n}_{\alpha\beta}$ 为单位方向向量; Δt 指一个人的反应时间,一般为 $0.15 \sim 0.5$ s。人们的反应时间并不是正态分布,其对数呈逼近的正态分布,人的平均感觉反应时间一般为 0.4 s。

1.4 末动量的预测值与实际值

末动量的实际值 $\vec{p}_{s-n}$ 与初始动量的获得类似,

由行人 α 的质量 m 与实际速度决定。同样可由式(1)计算得到。基于动量守恒定理,分析行人 α 在行人 β 的冲力影响下运动状态的改变,最终得到计算末动量预测值的公式:

$$\vec{p}_{pre} = \vec{p}_0 + \vec{I} \quad (6)$$

通过以上计算过程,我们得到了动量模型中的4个关键要素,即初始动量 $\vec{p}_0$, 冲量 $\vec{I}$, 实际末动量 $\vec{p}_{s-n}$, 预测末动量 $\vec{p}_{pre}$ 。

2 基于动量动力学模型的因果关系识别

如果视频序列长度为 h , 在整个序列中我们设定长度为 s 的平移窗口,在该平移窗口中计算动量模型中所提到的4个关键要素,即 $\vec{p}_0, \vec{I}, \vec{p}_{s-n}$ 和 $\vec{p}_{pre}$, 动量动力学因果模型在视频序列中的应用可由如下过程计算:首先在平移窗口中选取前 n 帧,用于计算 $\vec{p}_0$; 之后选取平移窗口的最中间帧作为当前帧,计算 $\vec{I}$; 接着根据式(6)得到 $\vec{p}_{pre}$; 最后选取平移窗口的最后 n 帧,根据式(1)计算 $\vec{p}_{s-n}$ 。依据表1所示因果关系识别条件,结合本文提出的四要素,提出了基于动量动力学模型的因果关系判定条件,如表2所示。严格意义上两个矢量的同方向指方向夹角为 0° 。而根据实际测定的行人运动方向是不可能严格意义上的一致的,因此本文提出方向阈值的概念,认为在该方向阈值 θ_i 中,两矢量视为同方向。为了判断方向,首先求取几个矢量之间的夹角,如图1,计算如下:

$$\theta_x = \arccos\left(\frac{\vec{p}_0 \vec{p}_{s-n}}{|\vec{p}_0| |\vec{p}_{s-n}|}\right) \quad (7)$$

$$\theta_y = \arccos\left(\frac{\vec{p}_{s-n} \vec{p}_{pre}}{|\vec{p}_{s-n}| |\vec{p}_{pre}|}\right) \quad (8)$$

$$\theta_z = \begin{cases} \arccos\left(\frac{\vec{p}_{pre} \vec{I}}{|\vec{p}_{pre}| |\vec{I}|}\right), & \vec{I} \neq 0 \\ 0, & \vec{I} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

由式(7)、(8)、(9)可分别求得 $\vec{p}_0$ 与 $\vec{p}_{s-n}$ 的夹角 θ_x , $\vec{I}$ 与 $\vec{p}_0$ 的夹角 θ_z , $\vec{p}_{pre}$ 与 $\vec{p}_{s-n}$ 的夹角 θ_y 。令 $x = \theta_x - \theta_i$, $y = \theta_y - \theta_i$, $z = \theta_z - \theta_i$, 其中 θ_i 为方向阈值。因此当同方向时, $x, y, z \leq 0$, 反之 $x, y, z > 0$ 。因果关系判断条件改进为表2所示。由表2可知,因果关系的不同是由变量 x, y, z 的正负值所决定的。

当仅仅考虑三个变量正负而不考虑大小的情况下，因果关系可以通过 x, y, z 所组成的三维空间坐标系来表达。

表 2 基于动量动力学模型因果关系判断表

因果关系	判定条件		
	$\dot{p}_0$ 与 $\dot{p}_{s-n}$ 是否同向	$\dot{I}$ 与 $\dot{p}_0$ 是否同向	$\dot{p}_{pre}$ 与 $\dot{p}_{s-n}$ 是否同向
导致	$x > 0$	$z > 0$	$y \leq 0$
促进	$x \leq 0$	$z \leq 0$	$y \leq 0$
阻碍	$x \leq 0$	$z > 0$	$y \geq 0$

但是由于三维坐标系输出结果不方便观察因果关系的变化趋势，又考虑到平面直角坐标系可转化为极坐标表示。极坐标有两个参数，分别为极角及极径，其中极角的大小是与平面直角坐标系的 4 个象限相关联的。由于极角的值域为 $[0^\circ, 360^\circ]$ ，可以将变量 z 作为极角的正负参数， x, y 作为平面直角坐标系坐标，最终的极角值域为 $[-360^\circ, 360^\circ]$ 。三维坐标系转化为极角的具体过程如下所示：

(1) 参数归一化。夹角 $\theta_i (i = x, y)$ 的取值范围为 $[0^\circ, 180^\circ]$ ，由此可知 x 和 y 的取值范围为 $[\theta_i, 180 - \theta_i]$ 。可以看出此时 x 和 y 的取值范围是正负不对称的，正负值范围根据方向阈值 θ_i 的变化而改变。根据公式

$$x' = \begin{cases} \frac{x}{\theta_i} & x \leq 0 \\ \frac{x}{180 - \theta_i} & x > 0 \end{cases} \tag{10}$$

和公式

$$y' = \begin{cases} \frac{y}{\theta_i} & y \leq 0 \\ \frac{y}{180 - \theta_i} & y > 0 \end{cases} \tag{11}$$

可以对 x 和 y 的取值归一化，使正负值范围相等。

为了更加直观地表示因果关系识别的结果，本文采用因果值的概念，因果值的大小能够表示行人间因果关系的类别及变化趋势。具体计算方法如下式所示：

$$\gamma_1 = \begin{cases} z' \left(\arctan \left(\frac{y'}{x'} \right) \right), & x' > 0, y' > 0 \\ z' \left(180^\circ + \arctan \left(\frac{y'}{x'} \right) \right), & x' < 0 \\ z' \left(360^\circ + \arctan \left(\frac{y'}{x'} \right) \right), & x' > 0, y' \leq 0 \\ z' \times (-180^\circ), & x' = 0, y' \leq 0 \\ z' \times 180^\circ, & x' = 0, y' > 0 \end{cases} \tag{12}$$

$$z' = \begin{cases} -1 & z < 0 \\ 0 & z = 0 \\ 1 & z > 0 \end{cases}$$

得到的 γ_1 的值域为 $[-360^\circ, 360^\circ]$ ，为了表现得更直观，本文对 γ_1 做了进一步处理，将其取值范围缩小到 $[0^\circ, 360^\circ]$ ，从而获得因果值 γ 如下式所示：

$$\gamma = \frac{\gamma_1}{2} + 180^\circ \tag{13}$$

3 实验结果分析

为了验证算法的有效性，拍摄具有代表性的视频，视频场景为室外，并由单一的摄像机固定在 20m 高度拍摄，相机为 MV Capture v2.2 工业相机，所拍摄视频的帧速率为 7.5fps, 15fps 和 30fps，大小均为 480×640 像素。实验分析两个行人间的因果关系，分别为导致、促进和阻碍关系。

3.1 实验所用参数

为了定量地表达行人间的因果关系，表 3 给出了不同因果关系与因果值 γ 间的对应关系。

表 3 因果关系与因果值

因果关系	γ
导致	$[315^\circ, 360^\circ]$
阻碍	$[225^\circ, 270^\circ]$
不存在	$[135^\circ, 225^\circ]$
促进	$[45^\circ, 90^\circ]$
未定义	其他

四组实验参数取值如表 4 所示。

表 4 实验参数

参数	A_{α} (N)	B_{α} (m)	frame-rate (fps)	$r_{\alpha\beta}$ (m)	λ	Δt (s)	m (kg)	θ_t ($^{\circ}$)	l (m)	h (f)	s (f)	n (f)
1	2000	0.5	15	0.6	0.1	0.4	65	20	3.5	200	50	15
2	2000	0.5	15	0.6	0.1	0.4	65	20	3.5	80	40	15
3	2000	0.5	7.5	0.6	0.1	0.4	65	20	3.5	100	30	8
4	2000	1.2	30	0.5	0.1	0.4	60	20	3.5	405	90	30

3.2 因果值分析

本文实验中实验了多组数据,现取出其中几个有代表性的视频序列展示本文方法的性能。实验所用视频序列为长度为 h 帧的小视频段,其中每 s 帧组成一个搜索窗口,在搜索窗口中实现本文所提出

的算法,通过搜索窗口的平移得到 $h-s$ 个数据即因果值 γ 。

实验 1 的视频帧如图 2(a) 所示,在该视频中,行人 α 与 β 相对而行,当两人逐渐接近而相遇时,行人 α 受到 β 的影响而转身反向。图 3 显示了因果值

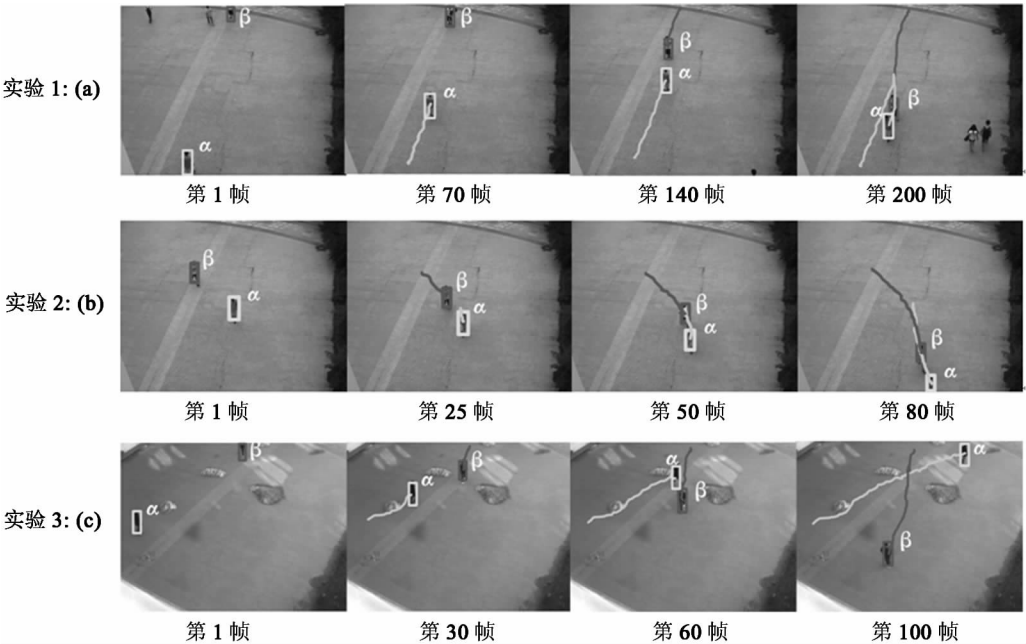


图 2 三组实验视频的帧

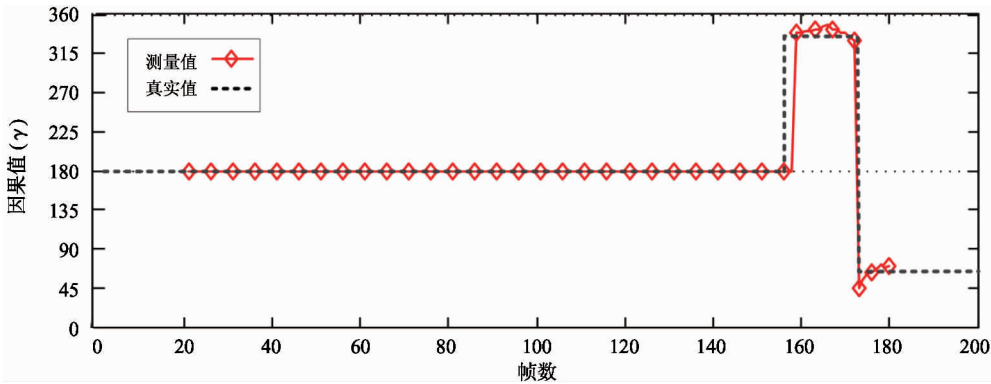


图 3 实验 1 因果关系 γ 值

γ 的计算结果,在 155 帧之前,行人 α 受 β 的影响十分微弱,其因果值分布在 135 - 225 之间,即不存在因果关系,从 156 帧到 173 帧,计算结果表明其因果关系变为导致,此时行人 α 与 β 间距离很近,行人 α 受到行人 β 的影响开始转身后方跑,即初始动量、最终末动量、冲量以及预测末动量四者的关系符合导致关系;从 174 帧开始,依据因果值判定其相应的因果关系变为促进,是由于两行人变为追逐行为,行人 α 的初始动量发生改变,与冲量及末动量的方向均保持一致,行人 β 对行人 α 的前进状态起到的是促

进的作用。

实验 2 的场景可描述为:行人 α 受到从身后追来的 β 影响,加速前行,视频序列代表帧如图 2(b) 所示,深浅两种曲线分别为两目标行人的运动轨迹。相应的因果值如图 4 所示,可以看出,从第 30 帧开始,因果值减小到 45 - 90 之间,所判定的因果关系为促进,即:初始动量与实际末动量同向、冲量与初始动量同向、预测末动量与实际末动量同向。所测得的因果值与真实值有两帧的误差,检测精度较高。

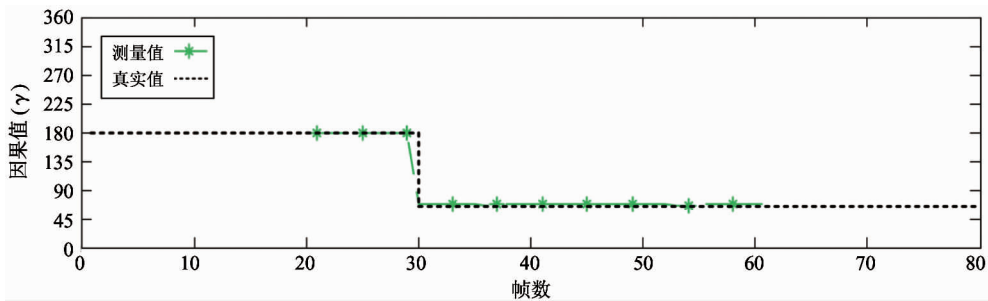


图 4 实验 2 因果关系 γ 值

实验 3 的相关视频帧如图 2(c) 所示,行人运动的过程是:行人 α 和 β 相向而行,相遇后交错继续前进。由图 5 可以看出,从第 52 帧到 73 帧,因果值 γ 位于 255 - 270 之间,依据动量动力学因果模型可判

定此时目标间关系为阻碍,原因在于此时两目标距离较近且相向而行, α 受到 β 的阻碍而减速行走,初始动量与实际末动量一致,但冲量与初始动量相反。

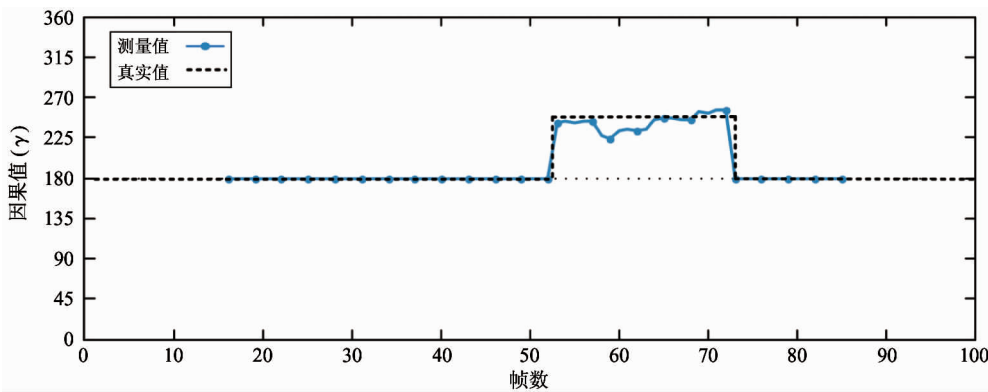


图 5 实验 3 因果关系 γ 值

在实验 4 中,利用更复杂的场景来验证本文提出的因果关系判定方法,实验中,分别判定目标行人与多个其他行人间的因果关系,相应视频帧如图 6(a) 所示,5 条曲线分别为 5 个目标行人的运动

轨迹。由动量动力学模型所测得的行人 α 与其他 4 位行人间的因果值 γ 如图 6(b) 所示,图 6(c) 为实验 4 中 4 位行人与行人 α 之间关系的真实值。实验 4 的过程表述如下:行人 α 从场景右上方移动到左

方,行人1与行人 α 相对而行,相遇后分离;行人2从场景右方跑向行人 α ,使得行人 α 被迫偏向场景的左方前进;行人3与行人4分别位于场景的右下方与左上方徘徊行走。在168帧之前,4条曲线全部位于135-255之间,从169帧开始,行人1曲线的值为225-270之间,此时行人1与实验目标间的

因果关系为阻碍,直到第259帧,由于两行人交错分离,目标间不再存在因果关系。行人2从314帧到331帧,因果值为[45,90]与目标间因果关系为导致,从323帧到360帧,两者因果关系变为促进。行人4与行人3的因果值一直位于135-225之间,与目标行人间不存在因果关系。

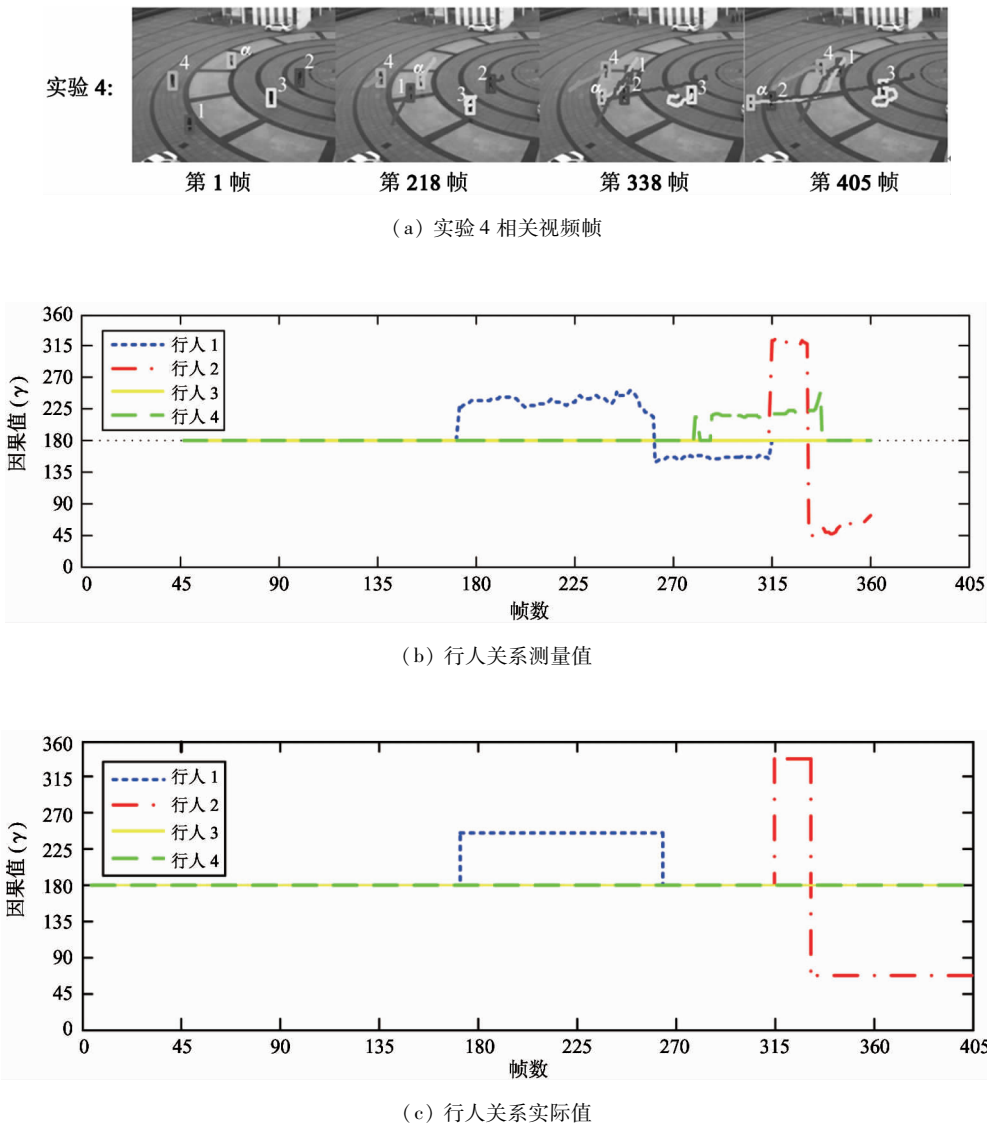


图 6 实验 4 结果分析

3.3 角度阈值 θ_i 对因果关系判断的影响

阈值 θ_i 决定了是否同向的范围,因而 θ_i 取值的变化会影响 x, y, z 的正负,进而影响因果值 γ , 影响因果关系的判断,本节对比分析不同角度阈值对实验四的影响。

正如图 7 所示,当 θ_i 取值为 5 时,检测错误率很

高,行人 2 对目标行人的影响没有被正确检测出,行人 1 对目标行人的因果关系检测也存在较大误差。 θ_i 取值为 15 和 25 时,即图 7(b)、(c) 所示曲线,因果关系检测效果基本相同,且结果准确。当 θ_i 取值增大到 30 时,行人 4 与目标行人间的因果关系检测误差加大,且行人 2 对目标行人的因果作用有部分

导致关系被误识别为促进。

总体来看 θ_i 值过小或过大,都会增大检测结果的错误和误差,当 θ_i 为 15 - 25 时,因果关系识别较

为准确,与图 6(c) 的真实值相比发现,角度阈值过小如取值为 5 时,因果关系检测有滞后现象,而当取值过大如 30 时,因果值检测结果有超前现象。

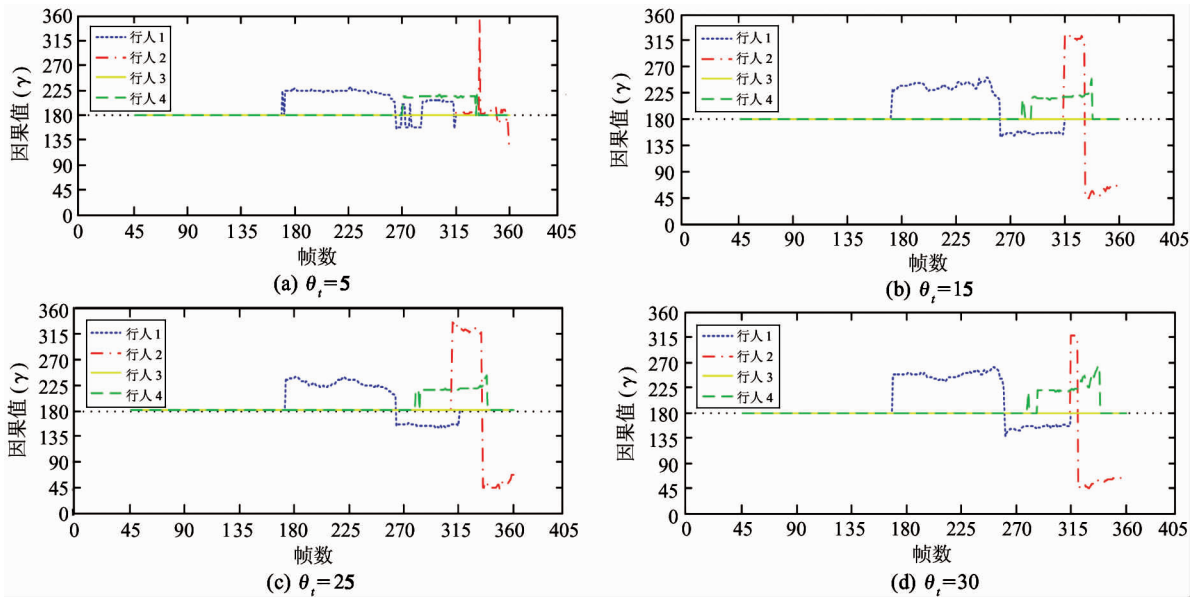


图 7 不同阈值下实验 4 因果关系 γ 取值

根据对数据的分析,我们得知造成以上结果的原因主要是当阈值取值过小时,两行人行走本来是同向但由于跟踪曲线的波动导致方向偏差大于阈值,容易被误认为是不同方向。而当阈值过大时,本来不同的方向容易误检为相同方向。所以确定合适的阈值,对检测结果的正确性有重要的关系。本文四组实验中所选取的角度阈值为 20,从对比实验看来,角度阈值选择范围可定在 15 - 25 之间。

4 结 论

在行人行为分析领域中,将因果关系理论与行人行为相结合属于探索性研究课题。本文结合动量定理和社会力模型提出了动量动力学模型,用以描述行人间关系,克服现有模型难以对现实中行人关系量化描述的缺点,并将复杂的因果关系判定方法转化为因果值,从而使因果关系的识别更加直观和准确。通过与人眼所观测的真实值对比,4 组实验结果均表现出了较高的识别精度,与人眼判定结果基本吻合。为了分析方向阈值对行人间关系的影响,对角度阈值取不同值作对比实验,并分析了角度

阈值变化对行人间关系检测造成的影响,结果表明角度阈值的选取以 15 - 25 为宜。

未来的研究主要是分析多目标间的传递关系,同时探索行人因果关系与异常行为分析相结合的可行性。

参考文献

- [1] Johansson G, Visual motion perception. *Scientific American*. 1975, 232(6) :75-80, 85-88
- [2] Turaga P, R Chellappa, Subrahmanian VS, et al. Machine recognition of human activities: A survey. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 2008, 18(11) : 1473-1488
- [3] Gavrilu D M. The visual analysis of human movement: a survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 1999, 73(1) : 82-98
- [4] Ni B, Yan S, Kassim A. Recognizing human group activities with localized causalities. In: *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Pattern Recognition*, Las Vegas, USA, 2009. 1470-1477
- [5] 李楠, 张志敏. 基于速度场简化的人群行为分析. *高技术通讯*, 2012, 22(5) : 490-496
- [6] Talmy L. Force dynamics in language and cognition. *Cognitive Science*, 1988, 12: 49-100
- [7] Godfrey-smith P, Beebe H, Hitchcock C, et al. Causal Pluralism, *Oxford Handbook of Causation*. Oxford: Oxford University Press, 2010. 326-337

- [8] Bird A. Causation and the manifestation of powers. *Mi-nerve Pediatrica*, 2010, 55(1): 9-10
- [9] Wolff P, Shepard J. Causation, touch, and the percep-tion of force. *The psychology of learning and motivation*, 2013, 58(58): 167-202
- [10] Wolff P, Barbey A K. Causal reasoning with forces. *Frontiers in human neuroscience*, 2015, 9:1-21
- [11] Wolff P. Representing verbs with force vectors. *Theoreti-cal Linguistics*, 2012, 38(3-4): 237-248
- [12] Sloman S, Barbey A K, Hotaling J M. A causal model theory of the meaning of cause, enable, and prevent. *Cognitive Science*, 2009, 33(1): 21-50
- [13] Wolff P, Zettergren M. A vector model of causal mean-ing. In: Proceedings of the 24th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Mahwah, USA, 2002. 944-949
- [14] Wolff P, Song G. Models of causation and the semantics of causal verbs. *Cognitive Psychology*, 2003, 47(3): 276-332
- [15] Barbey A K, Wolff P. Causal reasoning with forces. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2015, 9:1
- [16] Woodward J. Causal perception and causal cognition. In: Roessler J, Lerman H, Eilan N (eds.), *Perception, Causation, and Objectivity*. Oxford: Oxford University Press, 2011
- [17] Mayrhofer R, Waldmann M R. Causal agency and the perception of force. *Psychonomic bulletin & review*, 2016, 23(3): 789-796
- [18] Barbey A K, Wolff P. Learning causal structure from rea-soning. In: Proceedings of the 29th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 2007. 713-718
- [19] Copley B, Wolff P, Shepard J. Force interaction in the expression of causation. *Semantics and Linguistic Theory*, 2016, 25: 433-451
- [20] Croft W. Force dynamics and directed change in event lexicalization and argument realization. *Cognitive Science Perspectives on Verb Representation and Processing*, 2015. 103-129
- [21] Wolff P. Dynamics and the perception of causal events. *Philosophy*, 2008. 555-587
- [22] Hurtienne J, Löffler D, Gadegast P, et al. Comparing pictorial and tangible notations of force image schemas. In: Proceedings of the 9th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction, Stanford, USA, 2015. 249-256
- [23] Mehran R, Oyama A, Shah M. Abnormal crowd behavior detection using social force model. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recog-nition, Miami, USA, 2009. 935-942
- [24] Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, 1995, 51(5): 4282
- [25] Yilmaz A, Javed O, Shah M. Object tracking: A survey. *Acm computing surveys (CSUR)*, 2006, 38(4): 13
- [26] 张鹏程,徐德. 基于 CAD 模型的目标跟踪和定位算法研究. *高技术通讯*, 2014, 24(6):623-631
- [27] 王前,胡彩波. 一种基于相对固定增益的 Kalman 滤波信号跟踪算法. *高技术通讯*, 2015, 25(1):17-23
- [28] Liu D J, Li M Y, Shen L X. Experimental study on walk-ing gait of normal young people. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2008, 30(1): 67-71
- [29] Li S, Qian D, Luo Y. Microscopic dynamic simulation model for pedestrian at signalized intersection. *Journal of Central South University*, 2012,19(11): 3351-3362
- [30] Hu Q M, Fang W N, Deng Y. Research on pedestrian movement's model based on social force. *Journal of Sys-tem Simulation*, 2009, 21(4): 977-980

Analysis of pedestrian relationships based on momentum dynamics model

Zhang Xuguang, Wu Gefei, Tang Yinggan

(School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinghuangdao 066004)

Abstract

The pedestrian behavior analysis and the pedestrian relationship study were conducted. In consideration of the status that most of the current contributions in the field of computer vision focus on the classification and identifica-tion of target behaviors, while the distinguishment of causal relations between targets are less and the existing theo-ries can only describe the causal relationship between two targets in the field of psychology, a method based on the momentum dynamics model was proposed to recognize the causal relationship between two pedestrians. The method is described below: Firstly, a Cam shift algorithm is used for obtaining the positions of targets in a video. Then, a momentum dynamics model is employed based on the concept of causality to distinguish the causal relationship be-tween two pedestrians. Finally, the causal value is calculated. According to the range of causal value, causation, promotion and impediment, the three kinds of causal relationships between two pedestrians, can be gained. The ex-perimental results show that the proposed method can identify the causal relationship between two pedestrians under the situation of video monitoring.

Key words: video analysis, pedestrian behavior analysis, causal relationship, social force