

# 基于移动预测的航空 GPSR-TAMP 路由协议

张伟龙 吕娜 贾航川 李腾

(空军工程大学信息与导航学院 西安 710077)

**摘要** 在 CSM 自适应滤波算法的基础上提出了一种适合民用航空环境的改进滤波算法 MFACS, 并基于此提出了航空节点的移动(位置)预测算法。鉴于 GPSR 协议周期性信标交换算法存在的不足, 结合两跳自适应信标交换算法和对应的直接、间接邻居表维护机制, 按照是否使用移动预测算法, 提出了改进的路由协议 GPSR-TAMP 和 GPSR-TA。NS2 的仿真结果表明, 使用移动预测算法的 GPSR-TAMP 比仅使用两跳自适应信标交换算法的 GPSR-TA 协议更适合高动态的民用航空环境。

**关键词** 当前统计模型, 路由预测, GPSR, 民航, 航空自组网, 卡尔曼滤波

**中图分类号** TN953, TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.007

## Routing Prediction Algorithm for Aeronautical GPSR-TAMP

ZHANG Wei-long LV Na JIA Hang-chuan LI Teng

(School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract** Considering FACS algorithm can solve the problem that ACSM is not capable of describing weak strength maneuvering, an advanced adaptive filtering algorithm MFACS was introduced and on this basis a mobility prediction algorithm was raised, which was used in HELLO mechanism of GPSR creatively. Combining with a two hops adaptive beacon and relevant neighbor maintaining mechanism, according to whether adopt mobility prediction, two modified routing protocol GPSR-TAMP and GPSR-TA based on GPSR were derived to modify periodical beacon. NS2 simulation result demonstrates that with a better neighbor discovery mechanism, GPSR-TAMP outperforms GPSR-TA.

**Keywords** CSM, Routing prediction, GPSR, Civil aviation, AANET, Kalman filtering

## 1 引言

移动自组网中的路由预测也称移动预测<sup>[1]</sup>, 能够帮助路由协议根据实际需求在最可靠、最高效链路间寻求平衡, 进而提升路由灵活性和对网络环境的适应性。节点位置预测是维护开销最可控的移动预测方法, 因此该类预测方式不受节点运动形式的限制, 结合机载导航设备提供的位置坐标, 非常适用于高动态航空自组网环境。

在机动目标跟踪与位置预测中, 目标跟踪模型及相关滤波算法分别决定着移动预测的合理性与准确性。“当前”统计模型<sup>[2]</sup>(Current Statistic Model, CSM)在一阶时间相关模型的基础上引入非零均值加速度, 其对应的滤波算法(Adaptive filtering algorithm based on CSM, ACSM)通过过程噪声方差映射加速度均值并自适应调节滤波增益, 从而在更符合实际运动的基础上实现合理的滤波跟踪。其因跟踪精度高而受到持续关注。

自由飞行航空数据网<sup>[3]</sup>(Free flight aeronautical data network, FFADN)是一种通过航空自组网实时地传递民航飞机所需的交通、气象、管制等信息, 进而实现自主决定航迹的高效、经济自由飞行目的的分布式空管组网方案, 是航空电信网实现结构多层次升级的重要组网形式。

以 GPSR<sup>[4-6]</sup>(Greedy Perimeter Stateless Routing)为代表的地理路由协议, 因其只需要维护邻居节点的位置信息, 避免了路由表维护存在的开销和时延不可控问题, 十分适合网络规模大、拓扑变化程度高的 FFADN 环境。将节点位置预测用于 GPSR 的邻居表维护, 可为后者提供具有邻居运动趋势告知功能的路由辅助, 提高其在动态环境中邻居表的维护精度。

## 2 问题描述

### 2.1 滤波算法问题

FACS 算法<sup>[9]</sup>通过非线性函数动态调整机动加速度上下限, 以避免机动加速度落在 ACSM 描述失准区域, 很好地解决了 ACSM 由于采用固定加速度对弱机动跟踪精度低的问题。但笔者在仿真过程中发现, FACS 采用的无突变模糊函数会同时影响其对强转弯机动的描述精度; 文献<sup>[11]</sup>提出了一种基于方向变化量统计求均值, 根据一步方向变化量与均值的关系调整衰减因子, 进而实时修正预测误差协方差的算法。该思想能够实现对方向连续变化运动的滤波平滑化修正。

### 2.2 GPSR 邻居表维护问题

GPSR 属于不需要维护路由表的地理路由协议, 各节点由定位装置获取自己的位置坐标, 并将其通过周期性广播的信标发送, 以实现对自己的位置告知。但周期性信标仅适用

到稿日期: 2014-04-20 返修日期: 2014-06-22 本文受国家自然科学基金(61302153), 陕西省自然科学基金(2010JM8008)资助。

张伟龙(1988-), 男, 硕士生, 主要研究领域为航空数据链, E-mail: xuanuzhudan@163.com; 吕娜(1970-), 女, 教授, 硕士生导师, 主要研究领域为军事航空通信; 贾航川(1989-), 男, 硕士生, 主要研究领域为航空路由协议; 李腾(1989-), 男, 硕士生, 主要研究领域为计算机网络。

于低速自组织网络,对于网络拓扑高度动态的航空环境,信标周期设置过大或过小会分别引起邻居表拓扑失准和控制开销增加,导致邻居表准确度与控制开销无法自适应调节的问题。

GPSR 中的各节点通过提取所有接收到的邻居信标消息,分布式地维护自己的邻居表。由于 GPSR 主要采取贪婪的数据转发方式,数据转发节点选择的下一跳往往靠近通信边缘。此时若邻居节点从数据转发节点通信边缘移入和移出,会严重影响路由性能;若未及时识别邻居移出,会导致数据转发失败;若未及时识别邻居移入,会导致路由效率非最优。GPSR 采用一跳广播信标进行位置告知,只能通过超时时间判断邻居移出,不能预判邻居移入。

### 3 提出协议算法

为从信标开销自适应和邻居移入、移出感知这两方面解决航空环境中 GPSR 的邻居表维护问题,分别从两跳范围趋势告知、两跳信标消息提取、信标周期自适应控制和信标封装前的一步位置预测 4 个方面对 GPSR 进行改进,改进后的协议称为 GPSR-TAMP(GPSR-Two hops Adaptive beacon with Mobility Prediction),其中不带移动预测的协议称为 GPSR-TA<sup>[10]</sup>(GPSR-Two hops Adaptive beacon)。

#### 3.1 两跳信标交换算法

两跳信标采用区分节点工作状态的发送机制。为实现工作节点信息两跳传输,空闲节点信息一跳传输,设置工作状态识别号来区分工作状态,0 为空闲,1 为工作。信标以两种帧格式封装:直接(邻居)帧和间接帧。各节点进行信标封装发送时,将自己的信息填入直接帧,将自己直接邻居中识别号为 1 的节点信息按照 ID 号依次填入间接帧。形成的组合邻居帧就是可以用于发送的信标,信标发送时间为直接帧的位置获取时间,如图 1 所示。

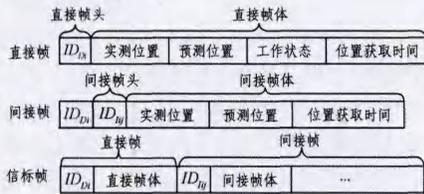


图 1 两跳信标帧格式

#### 3.2 信标消息提取与邻居表更新

对应于两跳的信标消息,各节点分布式维护两跳的邻居表包括直接、间接两种邻居表。收取信标后,从其直接帧中获取自己的直接邻居信息,将其添入直接邻居表;从信标的间接帧中获取自己的若干间接邻居信息,将其添入间接邻居表。其消息存储格式如图 2 所示。

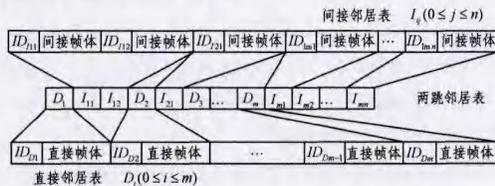


图 2 两跳邻居表存储格式

#### 3.3 信标周期自适应算法

将节点通信半径为  $R$ 、两边距离为  $S$  的同心圆设为过渡带边界。通过为半径相同的内、外过渡带设置频繁信标发送周期来限定过渡带范围,从而尽量限制过渡带所占区域,配合

较小的信标发送周期,根据邻居运动趋势实时添加移入过渡带的邻居,保证数据贪婪转发尽量多地进行;对处于过渡带外半部分的节点进行实时的两跳监控并感知其移入。改进的过渡带能够通过通信边缘内外的节点分布情况,为转发节点提供周围邻居分布密度(情况)的感知功能。

如图 3 所示,基于改进过渡带的信标分区自适应算法将节点通信范围分为 3 个区域:区域 I 为改进的过渡带,邻居节点处于转发节点通信范围内的部分通过直接邻居表读取;处于转发节点通信范围外的部分通过间接邻居表读取。区域 II 和区域 III 的节点位置信息由直接邻居表读取。信标周期的自适应判断方式如下:如果节点的邻居表中有节点处于区域 I,则该节点启动频繁信标触发,以  $I_1 = I_{min}$  作为信标发送间隔;区域 II 为与数据转发节点距离  $R/2$  处的  $r$  至  $R-S$  范围,当邻居中距离当前节点最远的节点处于区域 II 时,将邻居以最快速度移出当前节点通信范围的时间  $I_2 = S/2V_{max}$  作为信标周期;区域 III 为从数据转发节点到与其距离为  $r$  的区域,当邻居中距离当前节点最远的节点处于区域 III 时,当前节点以  $I_3 = R/4V_{max}$  为信标周期。

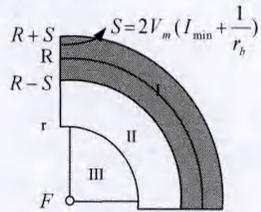


图 3 信标周期自适应分区判断

#### 3.4 移动预测算法

为区别传统路由协议使用速度、加速度、方位角等信息进行位置预测,移动预测算法仅使用节点位置信息进行位置预测,因此能够限制信标长度,减小控制分组与其他分组的碰撞概率(见图 1)。设计 MFACS(Modified Fuzzy Adaptive Current Statistic Model adaptive filtering algorithm)算法如下:

文献[11]提出将前  $N$  次方向归一化变化统计平均值  $\Delta d(k)$  作为判据,并将其与一步方向变化量  $\Delta d(k)$  结合指数函数形成衰减因子  $f$ :

$$f = e^{(\Delta d(k) - \Delta d(k))} \quad (1)$$

用以修正未经校正的预测误差协方差:

$$P(k/k-1) = [F(k)P(k-1/k-1)F(k)^T + Q(k-1)]f \quad (2)$$

式(1)、(2)通过 ACSM 滤波迭代算法完成滤波增益的更新,能够实现当连续转弯运动出现时,对滤波预测的平滑化处理。

MFACS 算法在直接(衰减)因子  $f$  的基础上提出一个间接(衰减)因子  $g$ ,用以在平稳跟踪曲线运动的同时,采用一个可变底数 ( $k > 1$ ) 的指数函数,利用底数大于 1 的指数函数性质,实现在弱机动段的  $g$  接近 1,  $f$  保持不变;在强机动段  $g$  呈指数型增长,修正 FACS 算法在强机动区间的描述精度弱化,从而有针对性地平滑修正 FACS 算法在不同机动程度区间的描述性能:

$$f = e^{(\Delta d - \bar{\Delta d})g} \quad (3)$$

$$g = k^{(\Delta d - \bar{\Delta d})} \quad (4)$$

### 4 仿真实验

#### 4.1 预测算法仿真参数设置

滤波算法仿真参数设置如下,取 FACS 算法 M 函数的

$k_1, k_2$  值为 0.97, 加速度阈值  $ath = 100\text{m/s}^2$ ,  $a-th = -100\text{m/s}^2$ , 加速度取值区间  $aup = 90\text{m/s}^2$ ,  $a-up = -90\text{m/s}^2$ 。机动时间常数  $T=1\text{s}$ , 机动频率  $\alpha=0.05$ 。MFACS 的均值统计采样次数为  $N=10$ , 基数  $k=2$ 。轨迹先以  $150\text{m/s}$  作匀速直线运动, 再以  $477\text{m}$  为半径作匀速强转弯机动。最后以  $955\text{m}$  为半径作匀速弱转弯机动。仿真周期  $50\text{s}$ , 结果取 100 次蒙特卡洛仿真的均值。

#### 4.2 滤波算法仿真结果

由图 4—图 6 的预测趋势可见, 在直接因子  $f$  的帮助下, MFACS 算法对机动目标曲线运动 ( $10\sim 50\text{s}$ ) 加速度、速度、位置的预测更为平稳。间接因子  $g$  由于采用指数函数修正滤波增益, 几乎不对弱转弯机动和直线运动修正, 对强转弯机动的预测修正作用很明显。MFACS 对 FACS 加速度、速度和位置预测值的修正幅度在最明显处 ( $20\text{s}$ ) 分别可达到后者的 36%、39% 和 33%。

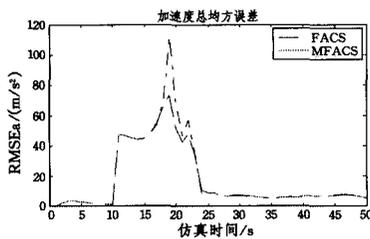


图 4 加速度预测误差对比

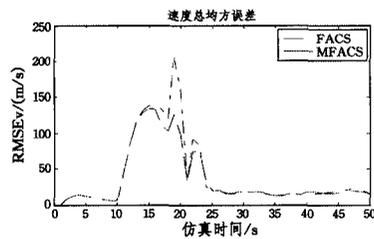


图 5 速度预测误差对比

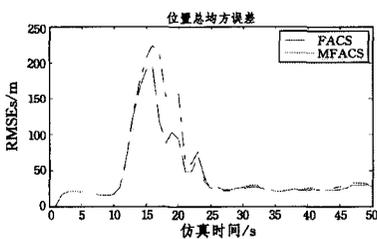


图 6 位置预测误差对比

从图 4 至图 6 在  $0\sim 10\text{s}$  的直线运动区间预测均方误差来看, 由于  $\Delta d(k)$  和  $\overline{\Delta d(k)}$  差值为 0, 间接因子  $g$  为 1, 此时 MFACS 算法对式 (2) 的修正与 FACS 相同, 保留了 FACS 对弱机动区间预测精度的优势。

由图中在  $10\sim 20\text{s}$  的强转弯区间的预测均方误差可见, 当强转弯机动刚开始时 ( $10\text{s}$ ), 由于  $\Delta d(k)$  仍为直线运动时的统计均值, 尚未对转弯机动收敛, MFACS 对 FACS 算法的位置预测改进不大 ( $15\text{s}$ ), 随着  $\overline{\Delta d(k)}$  统计均值在转弯区间的收敛, MFACS 的预测能力逐渐增强 ( $20\text{s}$ )。

由  $20\sim 50\text{s}$  的弱转弯区间的预测均方误差可见, 当弱转弯机动刚开始时 ( $20\sim 25\text{s}$ ), 由于  $\overline{\Delta d(k)}$  使用强转弯机动区间的统计平均值, 因此对 FACS 预测精度仍有较大修正。随着

弱转弯机动统计均值  $\overline{\Delta d(k)}$  值逐渐收敛 ( $25\text{s}$  后), MFACS 与 FACS 算法预测性能恢复接近。证明 MFACS 能选择性地保留 FACS 对弱机动的预测性能。

由图 7 的预测轨迹与实际轨迹对比可见, 小半径强转弯机动过程中, MFACS 对目标的轨迹预测更接近实际, 同时保持了在直线和大半径弱转弯机动过程与 FACS 相近的预测精度。由此可以推知, 在转弯半径更大的弱转弯机动中, 两种算法的预测性能会进一步相互收敛。由此验证了算法取得了预期的效果。

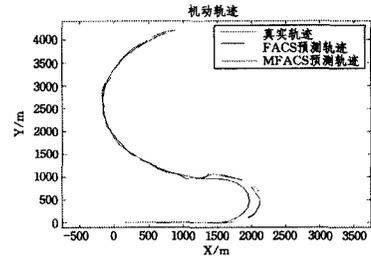


图 7 预测轨迹对比

#### 4.3 网络仿真场景设置

网络仿真参数设置如表 1 所列。

表 1 网络仿真参数设置

参数	选值	参数	选值	参数	选值
运行环境	ns2.34	业务类	CBR, 512 bytes/packet	过渡带半径	5km
移动模型	RWP	数据流	1connect, 10packet/s	仿真时间	200s
通信半径	350km	场景大小	1000km * 1000km	区域 2 信标间隔	11s
传输速率	1Mbps	MAC 协议	改进的 802.11DCF	数据包发送间隔	100ms
节点数	25 个	GPSR 信标周期/k	5s/4.5	节点停止时间	0s
飞行高度	9km	区域 1 信标间隔	1s	区域 3 信标间隔	22s

节点速率上限均匀分布区间 [200, 280], [280, 360], [360, 440], [440, 520], [520, 600], [600, 680] m/s

#### 4.4 协议网络仿真结果

如图 8 所示, 两种改进协议由于使用两跳信标从通信边缘两个方向对邻居移动进行更新维护, 其邻居表精度远高于采用一跳信标的 GPSR。因此两种改进协议的数据传输能力更平稳。

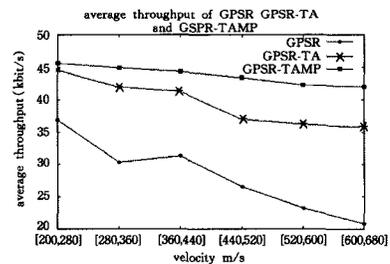


图 8 平均吞吐量对比

由于移动预测算法在 GPSR-TAMP 中的应用, 接收信标的邻居节点可根据信标发送节点的位置预测值提前对后者进行移动趋势预判, 从而当邻居信标发送位置处于通信边缘附近时, 提前对其进行直接、间接邻居表内存方式的转换, 因而其比 GPSR-TA 邻居表更精确, 数据传输能力也更稳定。

在速度上限均匀分布区间[360, 440]的移动场景中,由RWP模型的密度波效应导致节点平均间距接近信标周期自适应算法(见图3)在区域III的描述情况。该场景节点间距很小,不易发生邻居移出,因此GPSR和GPSR-TA在该区域吞吐量随着节点运动强度的下降趋势得到抑制。

由图9可见,两种改进协议由于采取两跳自适应信标交换算法,能从通信边缘两侧实时感知邻居移入和移出,从而通过更准确的邻居表减少路由重传和非最优路由,因此都能有效针对GPSR降低数据传输时延。

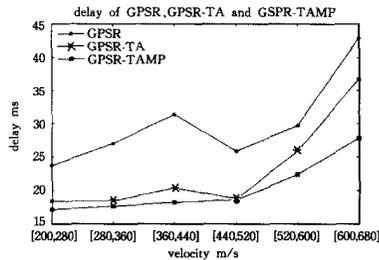


图9 平均端到端时延对比

在[440, 520]实验场景,密度波导致更多的节点间位置关系类似图3描述的区域I。由于该区域对应节点间处于相互的通信边缘,信标周期很小(1s),GPSR-TA的邻居表精度因更新频繁而提高。此时移动预测所起作用被削弱,邻居表精度相近导致GPSR-TA与GPSR-TAMP路由效率和错误率相近,因而两者时延性能几乎相同。

由图10可见,由于在信标告知、信标周期自适应更新、间接邻居表更新3方面使用了移动预测算法,GPSR-TAMP在GPSR-TA的基础上维护的邻居表具有运动趋势的预测性,更为实时精确的邻居表减少了路由重传,保证更多的数据分组成功传输。

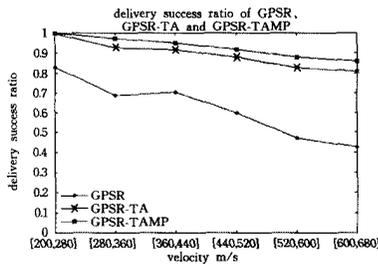


图10 数据分组交付率对比

[360, 440]区间处节点位置关系类似于图3在区域III的描述,此时节点间平均距离很近,即使用很大的信标周期也能保证邻居表的精度,因此该场景数据分组交付率有所提高。[280, 360]场景节点间位置关系更符合图3在区域II的描述,较小的邻居平均距离虽然也能精确地描述邻居表,但信标周期的减小提高了分组碰撞概率,导致交付率反而没有节点移动更强的[360, 440]场景高。

由图11所示的GPSR-TA路由开销可知,在[360, 440]场景的节点平均间距(区域III)比[440, 520]场景的平均距离(区域I)小。前者信标周期更大,控制开销小。[280, 360]场景有类似图3区域II的节点位置,因此所需控制开销比[360, 440]大;[280, 360]场景比[440, 520]控制开销略大的原因是,虽然节点在区域II比区域I单位时间内信标发送量更少,但前者的每跳平均距离更大,路由效率更高,数据分组的平

均转发次数更少,从而单位时间能够传递的数据分组数更多。

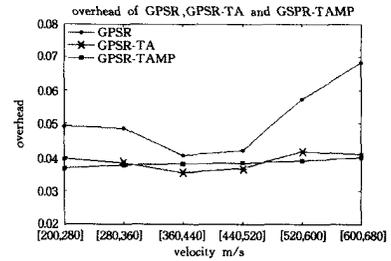


图11 归一化控制开销对比

GPSR-TAMP由信标接收事件驱动的信标周期自适应更新在计算邻居位置关系图时采用邻居预测位置和自己的一步位置预测两次移动预测,从而信标自适应调节更具实效性,且控制开销更稳定。

GPSR-TAMP在[360, 440]和[440, 520]两个场景比GPSR-TA控制开销高的原因在于:前者因为捎带预测位置信息,控制分组平均长度增大导致数据分组碰撞概率增加,削弱了移动预测算法在该两类场景下信标告知的效率。这种现象尤其在[440, 520]场景描述的信标发送频繁场景表现明显(相对于[360, 440])。

但这也从另一方面反映了移动预测算法的信标告知优势,因为两种改进协议在上述两个场景控制开销差值很小(不到0.003)。由于移动预测的算法能够通过很小的信标长度增加,取得更稳定的信标开销和更好的其他参数性能(见图8-10),因此随着速度上限区间继续增大,GPSR-TA算法控制开销性能会继续随GPSR-TAMP上下波动。

**结束语** 本文提出了两种GPSR的改进协议GPSR-TA和GPSR-TAMP,重点介绍了后者使用的邻居节点移动预测算法。该算法能有效解决FACS算法在强转弯机动中对ACSM算法的削弱,并通过信标告知、信标周期更新和间接邻居表更新3方面为路由提供邻居运动趋势感知。结合两跳信标对通信边缘邻居位置的实时获取,GPSR-TAMP能实时地从通信边缘两个方向感知邻居的移动趋势。结合信标周期自适应算法对周围节点的密度感知,GPSR-TAMP能够在邻居表精度和控制开销两方面作出合理的自适应,从而解决了航空环境下GPSR邻居表的维护问题,更好地保障了FFADN所需的数据传输。

下一步将一方面研究滤波算法的均值统计次数 $N$ 与指数函数底数 $k$ 间的关系,进一步改进预测算法在实际应用中的性能;另一方面,在高速飞行场景下,由于RWP模型构建的运动因其密度波效应会导致节点平均间距出现潜在的规律性变化,研究其变化原因并细化分析移动预测算法对协议性能改善很有必要。

## 参考文献

- [1] 罗晓东,卢守雄. 移动自组网络中基于预测机制的路由协议研究[J]. 南华大学学报, 2008, 22(1): 27-31
- [2] 周宏仁,敬忠良,王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京:国防工业出版社, 1991
- [3] 贾航川,吕娜,张衡阳,等. 自由飞行航空数据网关键技术及展望[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(10): 3754-3761

(下转第50页)

表2 异常行为与正常行为之间的识别准确率

	击打-正常	脚踢-正常	行走-异常	坐着-异常
SVM	99.51%	96.31%	96.59%	99.63%
KNN(K=5)	100%	95.06%	95.13%	99.93%
DT	100%	92.14%	91.86%	99.30%
NB	99.79%	82.67%	77.38%	99.23%

由表1和表2可知,SVM和KNN两种分类算法的行为识别准确率较高,各情况下的行为识别准确率都能达到95%以上,DT的识别准确率稍差,而NB的识别效果最差,脚踢和其他3种行为、行走和异常行为的识别准确率都不到80%。

而在采用同一种分类方法对各类情况进行行为识别时,脚踢与其他、脚踢与异常行为、行走与其他以及行走与异常行为这4种情况下的识别准确率是相对较低的。这是因为Shimmer传感器平台是固定在手腕处,当观测者有脚踢或行走行为发生时,传感器的三轴加速度数据会有一些的波动,不会像坐着时那么平稳,但又不会像击打时变化那么剧烈(如图3-图6所示),因此在脚踢和行走两种行为同时存在时会造成误判,降低了行为识别的准确率。

**结束语** 本文对基于无线体域网的囚犯打架斗殴等异常行为识别进行分析。收集典型的打架斗殴行为如击打、脚踢以及正常行为如行走、坐着的三轴加速度数据,将收集到的数据进行校正后提取特征值,形成特征矩阵。从特征矩阵中选取一部分作为训练数据,另一部分作为测试数据,采用SVM、KNN、DT、NB 4种分类算法对训练数据进行学习,构建相应分类模型对测试数据进行分类。结果表明,采用SVM和KNN算法时行为识别的准确率可以达到95%以上,有些甚至可以达到100%。本方法的特点是硬件设计体积小、重量轻、低功耗、易于携带,但是训练数据的学习阶段和测试数据的分类阶段都是离线的,还不能满足实际应用要求,因此我们将对异常行为的在线识别展开研究。

## 参考文献

- [1] Lara O D, Labrador M A. A survey on human activity recognition using wearable sensors[J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2013, 15(3): 1192-1209
- [2] Park C, Kim J, Choi H-J. A watch-type human activity detector for the aged care[C]// 2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE, 2012: 648-652
- [3] 王荣,章韵,陈建新. 基于三轴加速度传感器的人体跌倒检测系统设计与实现[J]. 计算机应用, 2012, 32(5): 1450-1452
- [4] Chernbumroong S, Atkins A S, Yu H. Activity classification using a single wrist-worn accelerometer[C]// 2011 5th International Conference on Software, Knowledge Information, Industrial Management and Applications (SKIMA). IEEE, 2011: 1-6
- [5] 杜友田,陈峰,徐文立,等. 基于视觉的人的运动识别综述[J]. 电子学报, 2007, 35(1): 84-90
- [6] Vaidehi V, Ganapathy K, Mohan K, et al. Video based automatic fall detection in indoor environment[C]// 2011 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT). IEEE, 2011: 1016-1020
- [7] 王孝平,谢维成. 人体运动异常行为监测[J]. 西华大学学报:自然科学版, 2012, 30(6): 22-25
- [8] 王亮,胡卫明,谭铁牛. 人运动的视觉分析综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(3): 225-237
- [9] Bao L, Intille S S. Activity recognition from user-annotated acceleration data[M]// Pervasive computing. Springer, 2004: 1-17
- [10] Choi S, LeMay R, Youn J-H. On-board processing of acceleration data for real-time activity classification[C]// 2013 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). IEEE, 2013: 68-73
- [11] Yang J, Wang S, Chen N, et al. Wearable accelerometer based extendable activity recognition system[C]// 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2010: 3641-3647
- [12] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks [J]. Machine learning, 1995, 20(3): 273-297
- [13] Varkey J P, Pompili D, Walls T A. Human motion recognition using a wireless sensor-based wearable system[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2012, 16(7): 897-910
- [14] 徐川龙,顾勤龙,姚明海. 一种基于三维加速度传感器的人体行为识别方法[J]. 计算机系统应用, 2013(6): 132-135
- [15] Larose D T. k-Nearest Neighbor Algorithm [J]. Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining, 2005: 90-106
- [16] Safavian S R, Landgrebe D. A survey of decision tree classifier methodology[J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 1991, 21(3): 660-674
- [17] Zhang H. The optimality of naive Bayes[J]. AAAI, 2004, 1(2): 3
- [18] Zhu C, Sheng W. Recognizing human daily activity using a single inertial sensor[C]// 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). IEEE, 2010: 282-287
- [19] Siirtola P, Laurinen P, Haapalainen E, et al. Clustering-based activity classification with a wrist-worn accelerometer using basic features[C]// IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, 2009(CIDM'09). IEEE, 2009: 95-100
- [4] Brad Karp, Kung H T. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks[C]// Proceedings of MobiCom, 2000: 243-253
- [5] Cadger F, Curran K, Santos J, et al. A survey of geographical routing in wireless ad-hoc networks[J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2013, 15(2): 621-653
- [6] Sobrinho J L, Quelhas T. A theory for the connectivity discovered by routing protocols [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(3): 677-689
- [7] Chen W, Guha R K, Kwon T J, et al. A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2011, 11(7): 787-795
- [8] 曹生林,马旭. 基于区域的可控路由模型[J]. 计算机科学, 2013, 40(10): 104-108
- [9] 王向华,覃征,杨慧杰,等. 基于当前统计模型的模糊自适应跟踪算法[J]. 兵工学报, 2009, 30(8): 1089-1093
- [10] 贾航川,吕娜. 一种基于两跳自适应信标的航空 GPSR 协议[J]. 重庆邮电大学学报, 2014, 26(4): 335-340
- [11] 郭鑫,葛凤翔,郭良浩. 改进的自适应 Kalman 滤波及其在水声机动目标跟踪中的应用[J]. 声学学报, 2011, 36(6): 611-618

(上接第38页)