

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.18.048

基于三轴加速度传感器的跌倒检测研究*

张军建 赵捷[△] 安佰京 尹文枫 陈甜甜 李大鹏 张春游

(山东师范大学物理与电子科学学院 山东 济南 250014)

摘要:本文基于 MMA7260QT 加速度传感器获取的人体运动加速度信号,采用人体加速度向量幅值(SVM)和人体加速度向量区域值(SMA)描述了老年人的运动状态,检测人体跌倒,具有良好的准确性和实时性。采用 bior3.3 小波分析,在轮廓的基础上,最大程度保留了细节,有效的去除噪声对特征量的干扰。本文提出了人体跌倒检测算法,大大降低了误判率和漏判率。首先,检测人体 SVM 是否超过阈值进行第一级跌倒检测,区别出人体日常活动(ADL)和跌倒;其次在此基础上,检测第一级各个跌倒的 SMA 值,是否超过阈值,判断跌倒和疑似跌倒。当两次判断都检测到跌倒发生时,报警。

关键词:跌倒检测;三轴加速度;小波

中图分类号:R318.6;TP312 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2014)18-3585-04

Triaxial Accelerometer-Based Fall Detection Research*

ZHANG Jun-jian, ZHAO Jie[△], AN Bai-jing, YIN Wen-feng, CHEN Tian-tian, LI Da-peng, ZHANG Chun-you

(College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Jinan, Shandong, 250014, China)

ABSTRACT: This article is based on human movement acceleration signal of acceleration sensors MMA7260QT, describing the movement state of the old with the body acceleration vector amplitude value vectors (SVM) and the body acceleration area (SMA) to detect man's fall, which has a good accuracy and real-time performance. Adopting the method of Bior3.3 wavelet analysis, this paper effectively remove noise interference with characteristics and retained the maximum details of outline. Fall in the human body detection algorithm proposed in this paper greatly reduce the misjudgment rate and false negative rate. In order to distinguish human daily activities (ADL) and fall, the first level fall detection is to judge whether the SVM is more than the detection threshold. On this basis, this paper detected whether the SMA of the falls in the first level is more than threshold, to distinguish fall down and suspected. When the above two steps detection both judge that fall occurs, the system alerts.

Key words: Fall detection; Triaxial accelerometer; Wavelet

Chinese Library Classification: R318.6; TP312 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)18-3585-04

前言

跌倒是对老年人健康乃至生命的严重威胁,由跌倒导致的健康问题给社会带来沉重的负担。据统计,在老年人群中,有超过 1/3 的 65 岁以上老年人每年都有跌倒经历,近 1/4 的老年人在跌倒发生后一年内死亡,2/3 老年人意外死亡都是由跌倒引起的,而在 75 岁以上老人中这个比例更是高达 70%。因此通过对人体跌倒行为进行准确识别和及时预警,最大程度的提高老年人的健康水平,节省社会医疗保险开销,具有重要意义。

国外对跌倒监测的研究和关注起步较早,方式方法相对多,按照跌倒后被监测者的反应方式分为主动报警式(被检测者)和自动报警式(监测系统)。主动报警式适用于被检测者在跌倒后意识清醒,能够主动报警,优点是准确、快捷,缺点是在被检测者失去意识时无法起作用,甚至有些老年人在意识清醒时,也无法做出反应。自动报警式能够在跌倒发生时自动向外界发送报警,使用范围要广泛的多,因而成为跌倒监测系统的发展方向。目前自动报警式方法主要有三种:

(1) 基于视频分析:需要在每个监测区安装视频设备,成

本高且效果不理想;

(2) 声响或振动分析:该方法通过频率分析检测跌倒,但是各种各样的地面是一个棘手的问题;

(3) 智能检测系统:设定人体发生跌倒后一个必然结果就是,在跌倒发生后的一段时间内,被检测者没有运动,缺点是实时性差,需要的时间较长。

早期的跌倒判定方法比较简单,其结果也受较大的限制。如,手杖中的水银开关,该检测方法默认,当人体发生跌倒时,手杖同时躺倒且呈水平状态。此时水银开关导通,发出报警。显然这种跌倒检测方法太过简单,结果也不是很理想,之后逐渐出现了以加速度信号为检测对象的检测系统,如分别放置在人体躯干和大腿前侧的单一方向的加速度传感器,但由于单一方向加速度传感器的限制,此种方法只能检测几个典型的活动姿势变化过程。

为克服上述现有技术的不足,提供一种基于三轴加速度传感器的人体跌倒检测方法,通过三轴加速度传感器获取人体三维加速度信号,采用 SVM 和 SMA 两个特征量,检测人体跌倒,实时性好,准确率高。

* 基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2010HM020);济南市自主创新项目(201102005)

作者简介:张军建(1986-),男,硕士研究生,信号与信息处理,E-mail:zjjsdsfzx@163.com

△ 通讯作者:赵捷,电话:13066031690,E-mail:1033590807@qq.com

(收稿日期:2013-12-18 接受日期:2014-01-15)

1 基于三轴加速度传感器的跌倒检测原理

1.1 坐标系的建立

人体通过佩戴跌倒检测系统,由三轴加速度传感器 MMA7260QT 测得的人体加速度量值,可以看做是一个三维矢量,用空间直角坐标系 X、Y、Z 三个轴来表示其方向。跌倒检测系统的佩戴位置,很大程度上影响到测量的加速度数据,大腿、腰部、前胸等都是可以使用的位置。考虑到与监护心电导联一起使用,故选择佩戴位置为人体前胸左侧心脏部位,令 X 轴表示人体竖直方向,Y 轴表示前后方向,Z 轴表示左右方向。佩戴位置较高,跌倒发生时加速度量值变化明显,更清晰的反映人体躯干的姿态变化,更准确的判断跌倒。

本系统三轴加速度信号的采样频率为 200 HZ,采样频率高,能更丰富的提供人体运动的细节信息;Carlin 等的研究表明,人体步行时头部加速度信号幅值范围在 0.8 g~4 g,鉴于人体运动的特点,三轴加速度传感器 MMA7260QT 量程选择 4 g。

1.2 数据预处理

1.2.1 中值滤波(n=3) 中值滤波器使用一个给定长度的窗依次滑过原始信号序列,将窗内的样本值用该窗所包含信号序列的中值代替。加速度传感器输出信号中掺杂了大量脉冲噪声,采用非线性信号处理技术的中值滤波器予以滤除。经实验测定,设定 n=3 时效果比较好。

1.2.2 低通滤波(LPF) 当人体处于静止状态时,由于重力加速度作用,X 轴幅值约为 1 g,方向沿 X 轴正方向。当人体发生跌倒时,X 轴方向上的加速度信号,包含重力加速度和运动加速度信号两部分,必须人为的分离出运动加速度信号。采用低通滤波(截止频率为 0.25 HZ,0.01 dB 纹波,3 阶 IIR 滤波器)的方法,能快速准确的从原始的加速度信号中滤出运动加速度信号。

1.3 人体运动分析特征量

1.3.1 加速度向量幅值 SVM 人体加速度向量幅值 SVM(signal magnitude vector),其定义式为: $SVM = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$,其中 A_x 、 A_y 、 A_z 分别为 X、Y、Z 三轴运动加速度幅值,并经过中值滤波后的信号,单位为 g。由于无法预测人体跌倒的方向,即发生

跌倒时加速度变化最剧烈的空间方向,所以不宜用单一轴的加速度数据去判断跌倒发生。SVM 将人体 X、Y、Z 三个方向的加速度变化集合为一矢量——即无论朝哪个方向跌倒,SVM 都会发生剧烈变化。SVM 表征人体运动的剧烈程度,其值越大表明人体运动越剧烈。

1.3.2 加速度向量区域值 SMA

人体加速度向量区域值 SMA (Signal Magnitude Area),其定义式为: $SMA = \frac{1}{\Delta t} \left(\int_{t_1}^{t_2} |A_x(t)| dt + \int_{t_1}^{t_2} |A_y(t)| dt + \int_{t_1}^{t_2} |A_z(t)| dt \right)$,其中 A_x 、 A_y 、 A_z 分别为 X、Y、Z 三轴运动加速度的幅值,并经过中值滤波和高通滤波后的信号,单位为 g/s。SMA 同样避免了以单一轴上的加速度值变化作为判定跌倒发生的依据,通过计算 X、Y、Z 三个方向上加速度变化的时间平均值,表征人体运动状态变化的剧烈程度,其值越大表明人体运动状态越剧烈。

2 人体跌倒检测算法

人体跌倒检测算法主要分为两部分,第一级算法检测出跌倒和疑似跌倒,降低跌倒检测的漏判率,第二级算法在第一级算法检测的基础上,区分跌倒和疑似跌倒,降低跌倒检测的误判率,从而准确的检测跌倒发生。

第一级算法选取特征量为 SVM。人体的日常活动(ADL)包括静坐,散步,上下楼等,快速行走、快跑,跌倒等属于剧烈运动。老年人进行日常活动时,SVM 值变化较平稳,而进行跌倒危险系数较高的剧烈运动时,发生跌倒的几率大大增加,SVM 值相应的迅速增大。通过设定适当的阈值,将人体运动分为剧烈运动(跌倒和疑似跌倒)和日常活动(ADL),最大限度的减小漏判率和误判率。

由于佩戴位置较高,加速度信号中包含相对多的相对位移噪声,造成 SVM 含有较多的脉冲噪声,对检测跌倒产生干扰。小波分析是一种时频局部化分析方法,具有多分辨率分析(Multiresolution Analysis)特点,在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,具有对信号的自适应性。如图表 1 所示,本文采用 bior3.3 小波对 SVM 信号进行 6 层小波分解,提取各层细节进行重建,除噪效果明显。

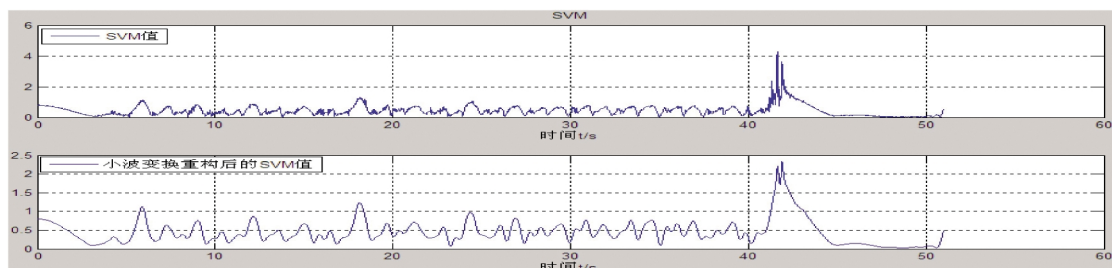


图 1 SVM

Fig. 1 SVM

对于大部分老年人,人体发生跌倒时,SVM 明显增大,峰值往往会超过 0.9 g;对于某些老年人,日常活动(如快速行走)和跌倒时 SVM 均会超过 1.5 g,这就造成了误判。通过实验证明,老年人日常活动时,SVM 值大于 0.9 g 的持续时间较短,而发生跌倒时,SVM 值超过 0.9 g 的持续时间一般在 60ms 左右。本系统设定采样频率为 200 HZ,将连续 12 个采样点的 SVM 值都大于等于 0.9 g,作为第一级算法的判断跌倒发生的依据。

图 2 是模拟老年人跌倒的 SVM 值,a 峰,b 峰,c 峰,d 峰分

别是下蹲、缓慢弯腰、跳跃以及跌倒时的 SVM 变化情况,通过第一级算法,滤除日常生活,判断出疑似跌倒和跌倒。

老年人在日常活动时,人体运动状态变化相对缓慢,SMA 变化不明显;而跌倒发生时,人体运动状态发生剧烈变化,SMA 明显增大,60 ms 内,SMA 的均值均不小于 0.008 g/s。在第一级算法基础上,计算各个跌倒发生时的 SMA 值,当连续 12 个点 SMA 均值 ≥ 0.008 g/s 时,判定人体发生跌倒。如图 3 所示,a 峰、b 峰、c 峰处连续 12 个点的 SMA 均值小于阈值,判断为疑

似跌倒, d 峰为跌倒发生。

图 4 为经过人体跌倒检测算法后, 最终的检测结果。

在人体动态坐标系下, MMA7260Q 三轴加速度传感器测量 X、Y、Z 三个轴向上的加速度值, 经过中值滤波($n=3$)和低通滤波(LPF)后滤出人体运动加速度信号, 计算特征值 SVM 和 SMA, 设定合理阈值, 实时的监测人体运动的剧烈程度和人体

运动状态变化强度。跌倒发生时, 人体运动剧烈, 人体运动状态变化大, 通过第一级算法可滤出大部分的日常活动(ADL), 如步行、站立等, 在此基础上, 计算各个跌倒的 SMA 值, 通过考察人体运动状态变化的剧烈程度, 滤除疑似跌倒, 进一步提高检测人体跌倒发生的准确率。

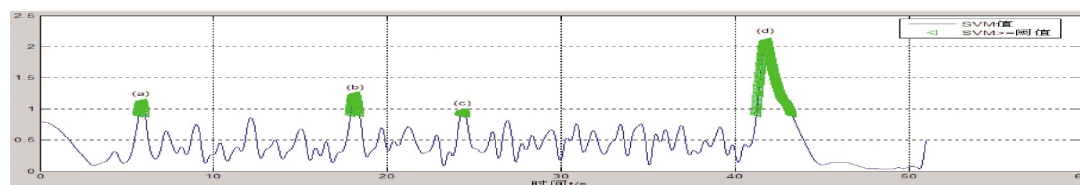


图 2 第一级跌倒检测结果

Fig. 2 The result of first fall detection

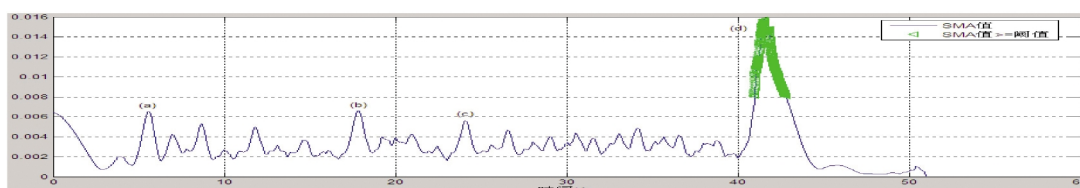


图 3 第二级跌倒检测结果

Fig. 3 The result of second fall detection

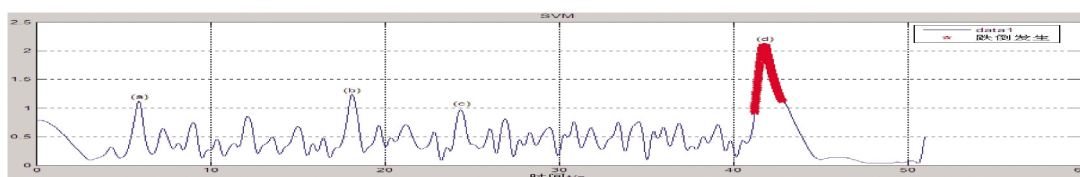


图 4 跌倒检测结果

Fig. 4 The result of fall detection

3 实验测试

由 10 名年龄在 20~25 岁之间的健康人分别进行 2 次跌倒

模式测试, 包括步行、上楼、下楼、坐下、起立等。有的数据含有多次跌倒时, 一次跌倒完后必须要起立, 起立看做一次跌倒。

	实验次数	标记跌倒	第一级检测	第二级检测	报警次数
步行摔倒	13	39	60	43	41
上下楼	36	52	62	52	53
快走	32	32	51	36	33
慢跑	32	32	72	50	41

4 结语与展望

本文克服上述现有技术的不足, 提供一种基于人体运动加速度信号的跌倒检测算法, 获取的人体三个方向上的加速度信号, 采用 SVM 和 SMA 两个特征量, 快速准确的检测跌倒。实验证明, 通过随身佩戴三轴加速度传感器能够即时检测出跌倒, 发出报警或者求救信号。成本更低, 更易于集成到其他便携医疗监护设备中, 并且具有较高的准确性和可靠性。

利用 matlab 仿真工具, 以及人体跌倒检测系统获取的数据库, 进行验证, 能及时的检测出人体跌倒, 具有较高的准确率和较低的误判率, 实现简单, 适合实时处理第一级算法计算量较小, 小波变换后对 SVM 进行阈值判断, 可滤除大部分日常活动, 及时的检测出跌倒和疑似跌倒, 大大降低漏报率; 第二级算法在第一级算法的基础上, 进一步的滤除疑似跌倒, 提高跌倒检测的准确率, 大大降低了误报率。

参考文献(References)

- [1] 陈炜, 佟丽娜, 宋全军等. 基于惯性传感器的跌倒检测系统设计[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(8): 117-118
Chen Wei, Tong Li-na, Song Quan-jun, et al. Design of fall detection system based on inertial sensors [J]. Transducer and Micro-system Technologies, 2010, 29(8): 117-118
- [2] 李冬, 梁山. 基于加速度传感器的老年人跌倒检测装置设计[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(9): 85-87
Li Dong, Liang Shan. Design of fall detection device for elderly people based on accelerometer [J]. Transducer and Micro-system Technologies, 2008, 27(9): 85-87
- [3] 张爱华, 王璐. 基于三维加速度传感器设计的跌倒检测[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(48): 9030-9032
Zhang Ai-hua, Wang Lu. Tumble detection based on three-dimensional acceleration transducer [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2010, 14(48): 9030-9032
- [4] Carlijn V.C., R. Kodde, J.D.Janssen. A triaxial accelerometer and

- portable data processing unit for the assessment of daily physical activity[J]. IEEE Trans.Bio-med Eng, 1997,44(3):136-147
- [5] 石欣,熊庆宇,雷璐宁.基于压力传感器的跌倒检测系统研究[J].仪器与仪表学报,2010,31(3):716
Shi Xin, Xiong Qing-yu, Lei Lu-ning. Research on fall detection system based on pressure sensor [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010,31(3):716.
- [6] 肖丽,付薇,王平.智能家居中老人跌倒远程监护系统的设计[J].视频应用与工程,2012,36(13):131-132
Xiao Li, Fu Wei, Wang Ping. Design of Elder Remote Monitoring System in Smart Home[J]. Video Application & Project, 2012,36(13): 131-132
- [7] 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
Wang Rong, Zhang Yun, Chen Jian-xin. Design and implementation of all detection system using tri-axis accelerometer [J]. Journal of Computer Applications, 2012,32(5):1450-1452
- [8] Roush RE, Teasdale TA, Murphy JN, et al. Impact of a personal emergency response system on hospital utilization by community-residing elders[J]. South Med J, 1995,88(9):917-922
- [9] R J Gurley, N Lum, M Sande, et al. Persons found in their homes helpless or dead[J]. N Eng J Med, 1996,334(26):1710-1716
- [10] 周白瑜,于普林.老年人跌倒和心血管疾病[J].中华老年医学杂志, 2006,25(3):224-227
Zhou Bai-yu, Yu Pu-lin. The elderly fall and cardiovascular disease [J]. Chinese Journal of Geriatrics, 2006,25(3):224-227
- [11] Christian B, Frank M. A survey of berth allocation and quaycrane scheduling problems in container terminals [J]. European Journal of Operational Research, 2010,202(3):615-627
- [12] Henk J. Luinge, Peter H. Veltink, Inclination Measurement of Human Movement Using a 3-D Accelerometer With Auto-calibration,IEEE Trans[J]. Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2004, 12 (1):112-121
- [13] Maarit Kangas, Antti Konttila. Determination of simple thresholds for accelerometry-based parameters for fall detection[C]. In 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS, France, 23-26,2007: 1336-1370
- [14] A.K.Parthasarathy, S.Kak. An improved method of content based image watermarking [J]. IEEE Trans on Broadcasting,2007,53 (2): 468-479
- [15] Legato P, Mazzar M. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation [J]. European Journal of Operational Research, 2001,133(3):537-547

(上接第 3584 页)

- [43] Bonnet S, Michelakis ED, Porter CJ, et al. An abnormal mitochondrial-hypoxia inducible factor-1 α -Kv channel pathway disrupts oxygen sensing and triggers pulmonary arterial hypertension in fawn hooded rats: similarities to human pulmonary arterial hypertension[J]. Circulation, 2006, 113(22): 2630-2641
- [44] West J, Fagan K, Steudel W, et al. Pulmonary hypertension in transgenic mice expressing a dominant-negative BMPRII gene in smooth muscle[J]. Circ Res, 2004, 94(8): 1109-1114
- [45] Jing L, Xi Q, Ziman Z, et al. FHL family members suppress vascular endothelial growth factor expression through blockade of dimerization of HIF1 α and HIF1 β [J]. IUBMB Life, 2012, 64(11): 921-930
- [46] Hao N, Whitelaw ML, Shearwin KE, et al. Identification of residues in the N-terminal PAS domains important for dimerization of Arnt and AhR[J]. Nucleic Acids Res, 2011, 39(9): 3695-3709
- [47] Kewley RJ,Whitelaw ML,Chapman-Smith A. The mammalian basic helix-loop-helix/PAS family of transcriptional regulators [J]. Int. J. Biochem. Cell Biol, 2004, 36(2): 189-204
- [48] Yang J, Zhang L, Erbel PJ, et al. Functions of the Per/ARNT/Sim domains of the hypoxia-inducible factor [J]. J Biol Chem, 2005, 280 (43): 36047-36054
- [49] Hubbi ME, Gilkes DM, Baek JH, et al. Four-and-a-half LIM domain proteins inhibit transactivation by hypoxia-inducible factor 1[J]. J Biol Chem, 2012, 287(9): 6139-6149
- [50] Foxler DE, Bridge KS, James V, et al. The LIMD1 protein bridges an association between the prolyl hydroxylases and VHL to repress HIF-1 activity[J]. Nat Cell Biol, 2012,14(2): 201-208
- [51] Ekholm SV, Reed SI. Regulation of G(1) cyclin-dependent kinases in the mammalian cell cycle [J]. Curr Opin Cell Biol, 2000, 12 (6): 676-684
- [52] Coutts AS, MacKenzie E, Griffith E, et al. TES is a novel focal adhesion protein with a role in cell spreading[J]. J Cell Sci, 2003,116 (Pt5): 897-906
- [53] Ratnikov BI, Partridge AW, Ginsberg MH, et al. Integrin activation by talin[J]. J Thromb Haemost, 2005, 3(8): 1783-1790
- [54] Burridge K, Mangeat P. An interaction between vinculin and talin[J]. Nature, 1984, 308(5961): 744-746
- [55] Albiges RC, Frachet P, Block MR, et al. Down regulation of talin alters cell adhesion and the processing of the alpha 5 beta 1 integrin [J]. J Cell Sci, 1995,108(10): 3317-3329
- [56] Priddle H, Hemmings L, Monkley S, et al. Disruption of the talin gene compromises focal adhesion assembly in undifferentiated but not differentiated embryonic stem cells [J]. J Cell Biol, 1998, 142(4): 1121-1133
- [57] Nuckolls GH, Romer LH, Burridge K. Microinjection of antibodies against talin inhibits the spreading and migration of fibroblasts [J]. J Cell Sci, 1992, 102(4): 753-762
- [58] Smith A, Carrasco YR, Stanley P, et al. A talin-dependent LFA-1 focal zone is formed by rapidly migrating T lymphocytes [J]. J Cell Biol, 2005, 170(1): 141-151
- [59] Hubbi ME, Luo W, Baek JH, et al. MCM proteins are negative regulators of hypoxia-inducible factor 1 [J]. Mol Cell, 2011, 42(5): 700-712
- [60] Baek JH, Liu YV, McDonald K R, et al. Spermidine/spermine-N1-acetyltransferase 2 is an essential component of the ubiquitin ligase complex that regulates hypoxia-inducible factor 1 α [J]. J Biol Chem, 2007, 282(3): 23572-23580
- [61] Baek JH, Liu YV, McDonald K R, et al. Spermidine/spermine N(1)-acetyltransferase-1 binds to hypoxia-inducible factor-1 α (HIF-1 α) and RACK1 and promotes ubiquitination and degradation of HIF-1 α [J]. J Biol Chem, 2007,282(46):33358-33366