

# 基于神经网络的非同关节双点缺失值补全研究

刘晓曦, 丛晓丹, 宋昌江

(黑龙江省科学院智能制造研究所, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:**在对运动员的运动姿态进行分析时,需要用动作捕捉系统采集运动员动作,但是在采集过程中,由于摄像头视角原因,并不能覆盖全部实验区域,所以采集到的数据会出现标记点缺失的情况,不方便后期分析运动数据。本文基于Qualisys动作捕捉系统,对运动员滑雪数据进行采集,针对非同关节双标记点缺失的情况,用带有残差结构的全连接神经网络对采集数据进行训练,从而补全摄像头未采集到的缺失标记点,对分析运动姿态具有重要意义。

**关键词:**动作捕捉系统;神经网络;缺失值补全

中图分类号:TP183;TP391.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)02-0181-04

## Research on Non Same Joint Double Point Missing Value Completion Based on Neural Networks

LIU Xiao-xi, CONG Xiao-dan, SONG Chang-jiang

(Institute of Intelligent Manufacturing, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150090 China)

**Abstract:** When analyzing the movement posture of athletes, it is necessary to use a motion capture system to capture their movements. However, due to the camera's perspective, the entire experimental area cannot be covered during the collection process, resulting in missing marker points in the collected data, which is inconvenient for later analysis of the movement data. This article is based on the Qualisys motion capture system to collect skiing data from athletes. In response to the situation of missing non same joint dual marker points, a fully connected neural network with residual structure is used to train the collected data, thereby completing the missing marker points that the camera did not collect. This is of great significance for analyzing the movement posture.

**Keywords:** motion captures; neural network; missing value completion

### 0 引言

为从专业角度对人体姿态进行分析,需要借助动作捕捉系统采集运动轨迹,从而算得运动过程中人体关节之间的夹角等物理量,从而对动作进行判断。这一过程对于许多场景具有重要意义,比如矫正各项运动初学者的运动姿态、判断运动员的动作是否标准以及对专业运动员的技术动作进行细致分析以提高技术水平等<sup>[1-3]</sup>。

但是在实际进行动作捕捉的实验时,会有诸多因素影响捕捉效果,导致采集的数据并不能包含人体所佩戴的全部标记点。为解决人体关键标记点缺失的问题,Liu等人将运动数据分解,通过非负矩阵分解来求解<sup>[4]</sup>;Wang等人提出了一种基于数据驱动的运动细化方法,对传统的稀疏编码过程进行了改进<sup>[5]</sup>;Dursun等人提出了一种用于封闭关键点估计的贝叶斯方法,预测2维缺失数据<sup>[6]</sup>。

本文用带有残差结构的神经网络对人体姿态缺失数据进行补全。本文采用Qualisys动作捕捉系统,滑雪运动员共佩戴17个标记点,用以表示人体关节。对滑雪运

动员的技术动作进行采集,将采集数据中包含全部标记点的部分数据导出。为改善非同关节双标记点的数据不全情况,将导出数据的非同关节标记点进行遮盖,形成数据集,将该数据集的一部分用于训练神经网络模型,一部分作为验证集,验证模型效果。

### 1 动作捕捉系统

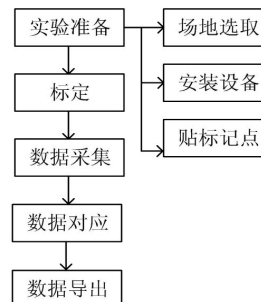


图1 Qualisys操作步骤

本文采用的设备为Qualisys高精度光学三维动作捕捉系统,该系统包括多个追踪标记点的近红外线高感摄像机、捕捉运动视频的高速三维动作捕捉工作站、标定系

统、设备固定装置以及佩戴在被采集者身上的标识点。采用该设备的步骤如图1所示。

## 2 实验

### 2.1 场地布置

本实验在室内滑雪场场景中进行,该滑雪机为斜坡式滑雪机,雪毯长度约为9.86 m,雪毯宽度约为4.80 m,最高点距底端高度约为2.20 m,滑雪机形态如图2所示。在滑雪机周围布置9个摄像头,其中8个是采集动作信息标记点的摄像头,1个是录制运动员滑雪姿态的摄像头。根据摄像头的可见范围调整其位置以及角度,调整后的摄像头相对位置如图3所示。

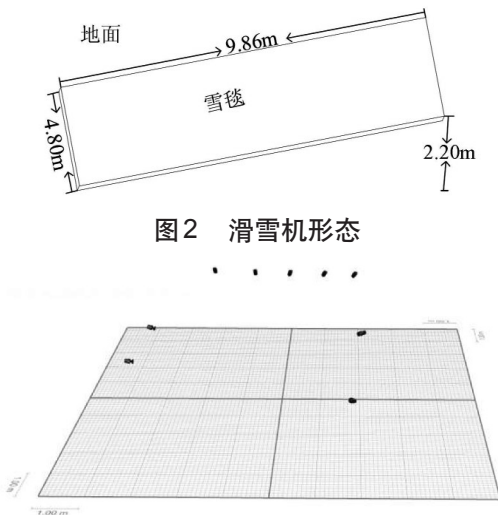


图2 滑雪机形态

图3 摄像头相对位置

### 2.2 贴标识球

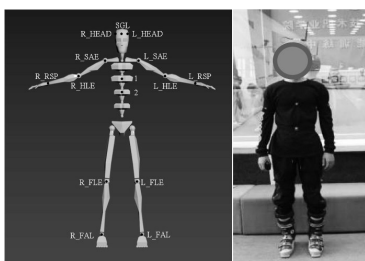


图4 标记点在人体正面位置

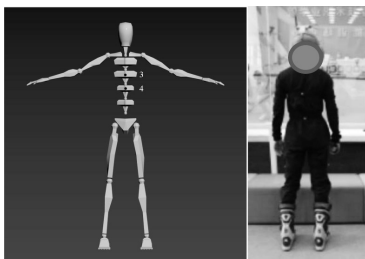


图5 标记点在人体背面位置

本实验选取三个运动员,每个运动员身上贴17个标识点,分别代表人体重要关节,标记点在人体的位置如图

4和图5所示。

### 2.3 标定

由于需要捕捉标记点的三维坐标,所以需要在场地空间中建立坐标系,确定原点以及坐标轴的位置。以滑雪机的中央为原点,X轴平行于滑雪机短边,Y轴与X轴在同一水平面且垂直于X轴,Z轴垂直于XOY轴,从滑雪运动员的视角来看,向左为X轴正方向,向后为Y轴正方向,向上为Z轴正方向,进行标定。

### 2.4 数据采集

实验一共分为三组,第一组运动员进行平行式滑雪运动,滑雪机速度设置为26 km/h,第二组和第三组运动员进行犁式滑雪,滑雪机速度分别设置为20 km/h和12 km/h,三组运动员佩戴好标记点后,在滑雪机上稳定滑行,启动动作捕捉系统,开始采集数据。采集的数据包括平行式和犁式的左转弯、右转弯、制动以及滑降。

## 3 实验方法

### 3.1 数据处理

采集数据的过程中,摄像头有时并不能完全捕捉运动员身上的标记点,标记点会出现缺失的情况,所以本文的目的是采用神经网络模型,将缺失点补全。首先,将捕捉到全部标记点的数据导出来,共有17个点,将导出数据的非同关节标记点进行遮盖,形成数据集,取部分为训练集,部分为测试集。

### 3.2 本文采取的神经网络

本文最初拟采取全连接神经网络,该网络随着网络层数的增加损失值逐渐减少,但是随着网络层数继续增加,会出现梯度爆炸和梯度消失的情况,以图6这个简单的两层神经网络为例,进行说明。

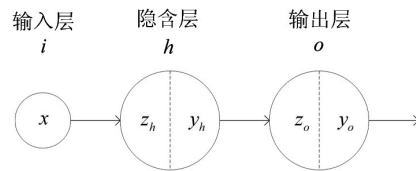


图6 神经网络示意图

设隐藏层和输出层的激活函数为 $h_x$ ,隐含层神经元接受输入值 $x$ ,进行线性变换

$$z_h = w_h x + b_h \tag{1}$$

将 $z_h$ 作为隐含层激活函数的输入,其输出为

$$y_h = h(z_h) \tag{2}$$

输出层接受 $y_h$ ,进行线性变换

$$z_o = w_o y_h + b_o \tag{3}$$

将 $z_o$ 作为输出层激活函数的输入,其输出为:

$$y_o = h(z_o) \tag{4}$$

设正向传播后的误差为Loss,则通过梯度下降法对

误差进行反向传播,更新的参数如下:

$$w_o^{(k+1)} = w_o^{(k)} - \eta \frac{\partial Loss}{\partial w_o} \quad (5)$$

$$b_o^{(k+1)} = b_o^{(k)} - \eta \frac{\partial Loss}{\partial b_o} \quad (6)$$

其中,

$$\frac{\partial Loss}{\partial w_o} = \frac{\partial Loss}{\partial y_o} \frac{\partial y_o}{\partial z_o} \frac{\partial z_o}{\partial w_o} \quad (7)$$

$$\frac{\partial Loss}{\partial b_o} = \frac{\partial Loss}{\partial y_o} \frac{\partial y_o}{\partial z_o} \frac{\partial z_o}{\partial b_o} \quad (8)$$

下面更新隐含层参数,

$$w_h^{(k+1)} = w_h^{(k)} - \eta \frac{\partial Loss}{\partial w_h} \quad (9)$$

$$b_h^{(k+1)} = b_h^{(k)} - \eta \frac{\partial Loss}{\partial b_h} \quad (10)$$

其中,

$$\frac{\partial Loss}{\partial w_h} = \frac{\partial Loss}{\partial y_o} \frac{\partial y_o}{\partial z_o} \frac{\partial z_o}{\partial y_h} \frac{\partial y_h}{\partial z_h} \frac{\partial z_h}{\partial w_h} \quad (11)$$

$$\frac{\partial Loss}{\partial b_h} = \frac{\partial Loss}{\partial y_o} \frac{\partial y_o}{\partial z_o} \frac{\partial z_o}{\partial y_h} \frac{\partial y_h}{\partial z_h} \frac{\partial z_h}{\partial b_h} \quad (12)$$

更新参数时会多次对激活函数求导,如果此部分大于1,随着神经网络层数的增加,会出现梯度爆炸;如果此部分小于1,随着神经网络层数的增加,会出现梯度消失。

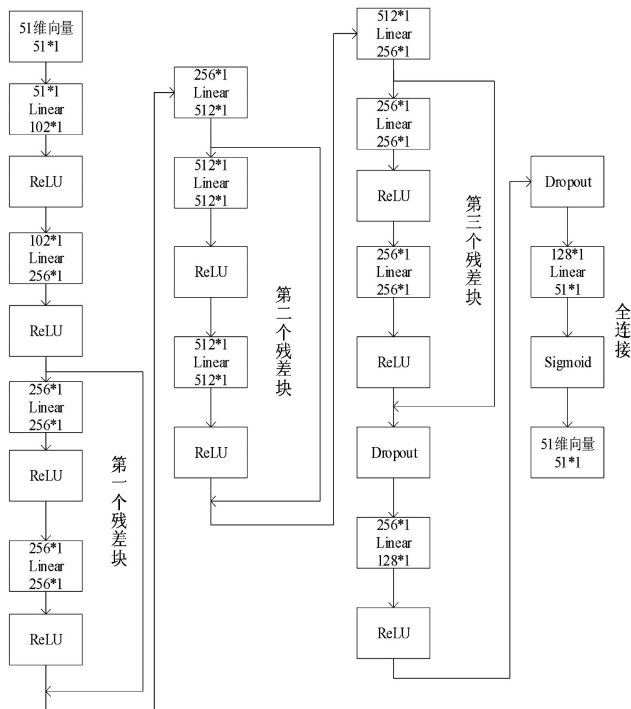
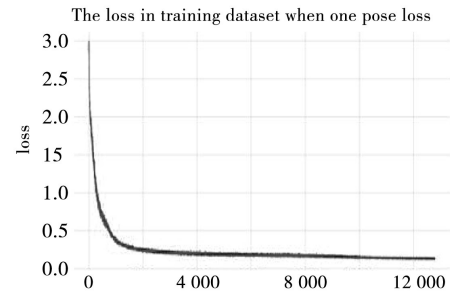


图7 本文采用的神经网络结构图

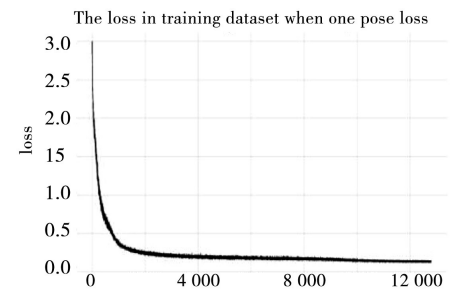
所以本文将全连接神经网络和ResNet相结合,以减少损失值,提升神经网络效果,本文采用的神经网络结构如图7所示。

## 4 实验结果

由于 qualisys 采集会出现数据不全的情况,本文用 3.2 的神经网络进行缺失值补全。针对采集到的数据非同关节双点缺失的情况,通过神经网络的训练,最终训练集和验证集均收敛,结果如图 8 所示。



(a) 训练集损失值



(b) 验证集损失值

图8 损失值

用其余点预测 R\_SAE 点和 SGL 点的坐标值,并将数据用低通滤波进行处理,结果如图 9 所示。

本文方法的预测值与实际值误差在可接受范围内,证明本文方法的有效性。

## 5 结束语

本文用 Qualisys 动作捕捉系统在滑雪机进行实验,针对实验结果中数据非同关节双点缺失的情况,采用带有残差结构的神经网络,对数据进行训练,最终结果训练集和验证集都收敛,通过验证,充分证明了该方法对于本文采集数据缺失值补全的有效性和可行性。

## 参考文献:

- [1] Brock H, Ohgi Y. Development of an inertial motion capture system for kinematic analysis of ski jumping[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P Journal of Sports Engineering & Technology, 2016, 10(2): 2356.
- [2] Tai W-H, Peng H-T, Song C-Y, Lin J-Z, Yu H-B, Wang L-I. Dynamic Characteristics of Approach Spike Jump Tasks in Male Volleyball Players[J]. Applied Sciences, 2021, 11(6): 2710.
- [3] Carnevale A, Mannocchi I, Sassi MSH, Carli M, De Luca

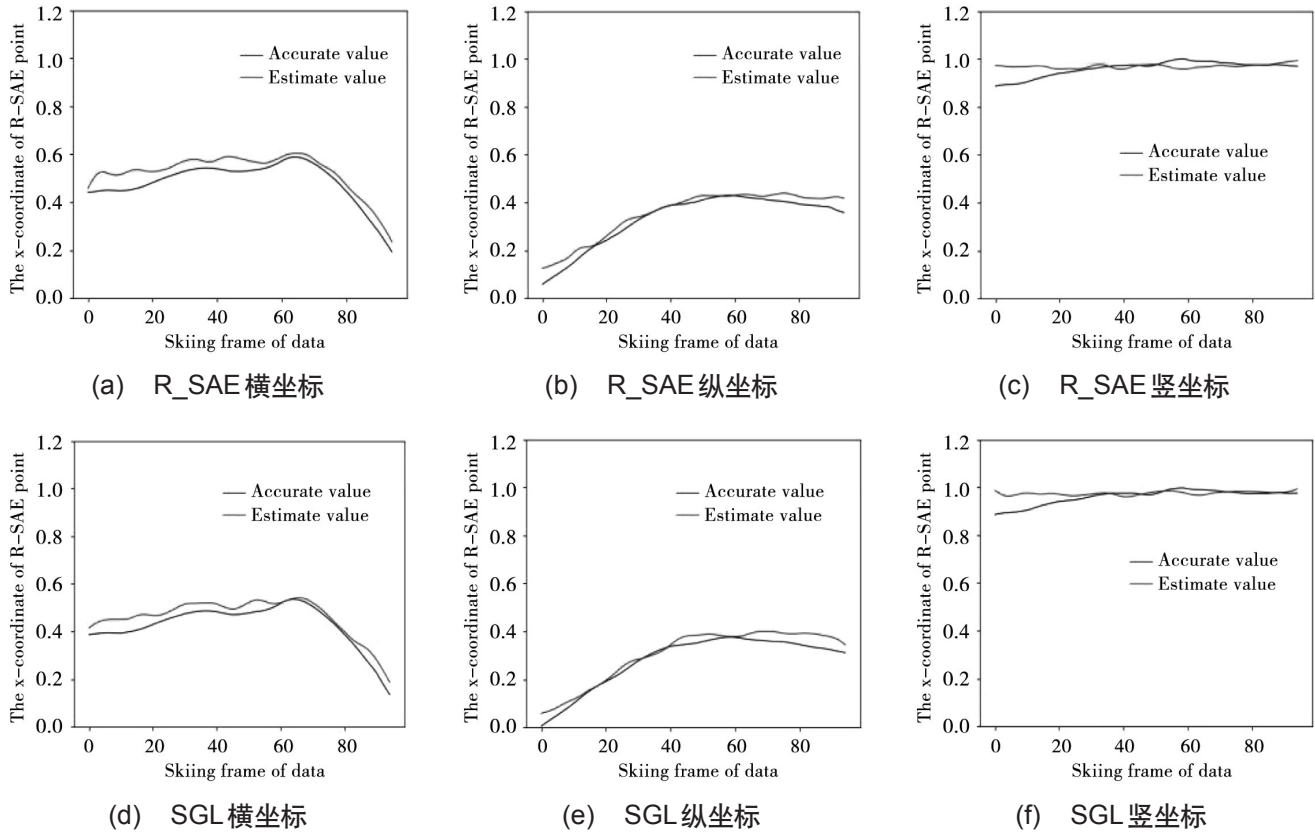


图9 低通滤波后的关节坐标值

G, Longo UG, Denaro V, Schena E. Virtual Reality for Shoulder Rehabilitation: Accuracy Evaluation of Oculus Quest 2. Sensors[J]. 2022, 22(15):5511.

[4] Liu, Xin, Peng, et al. Hierarchical block-based incomplete human mocap data recovery using adaptive nonnegative matrix factorization[J]. Computers & Graphics, 2015, 3(2):2322.

[5] Wang Z, Feng Y, Liu S, et al. A 3D human motion refinement method based on sparse motion bases selection. [J]. ACM, 2016:53-60.

[6] Dursun A A, Tuncer T E. Estimation of partially occluded 2D human joints with a Bayesian approach[J]. Digital Signal Processing, 2021, 3(2):2398.

作者简介: 刘晓曦(1997-), 女, 研究实习生, 研究方向: 应用数学。

(上接第 139 页)

10.13413/j.cnki.jdxblxb.2020198.

[4] Li K, Yang S, Dong R, et al. Survey of single image super-resolution reconstruction[J]. IET Image Processing, 2020, 14(11):2273-2290.

[5] 贺智, 贺丹. 基于深度学习的高分四号卫星图像超分辨率重建[J]. 遥感学报, 2020, 24(12):1500-1510.

[6] Dong C, Loy C C, He K, et al. Image super-resolution using deep convolutional networks[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2015, 38(2):295-307.

[7] Ebner M, Wang G, Li W, et al. An automated framework for localization, segmentation and super-resolution reconstruction of fetal brain MRI[J]. NeuroImage, 2020(206):116324.

[8] Shi J, Liu Q, Wang C, et al. Super-resolution reconstruction of MR image with a novel residual learning network algorithm[J]. Physics in Medicine & Biology, 2018, 63(8):085011.

[9] Shan L, Bai X, Liu C, et al. Super-resolution recon-

struction of digital rock CT images based on Residual attention mechanism[J]. Advances in GeoEnergy Research, 2022, 6(2):157.

[10] 武玉坤, 陈沅涛. 应用超分辨率重建算法的图像匹配算法[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(12):3569-3574. DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2019.12.034.

[11] 邵保泰, 汤心溢, 张宁. 基于主客观联合评价判据的红外超分辨率重建方法[J]. 红外与毫米波学报, 2019, 38(6):813-818.

作者简介: 郑子龙(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 机器学习算法在医疗领域的应用。