

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.12.017

海上目标雷达回波图像识别系统

赵建华, 王磊, 李涛

(海军大连舰艇学院装备自动化系, 辽宁 大连 116018)

摘要: 针对海上目标雷达自动识别存在方法单一技术受限、识别率不高, 难以满足作战应用要求等问题, 提出人工判别技术与先进的人工智能技术相结合的方法。通过剖析雷达回波显像特征, 提炼人工判别海上目标的知识 and 经验, 综合基于知识的模式识别技术、图像处理技术、自动分类识别技术, 构建海上目标雷达回波图像自动识别系统。结果表明, 该方法能较大幅度地提高海上雷达目标识别率和作战效率。

关键词: 海上目标; 雷达回波; 自动识别; 系统实现

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Sea Target Radar Echo Image Identify System

Zhao Jianhua, Wang Lei, Li Tao

(Department of Equipment Automation, Dalian Warship Academy of PLA Navy, Dalian 116018, China)

Abstract: There are several problems in sea target radar echo identify automation, such as single means, limited technique, low identify rate. It is difficult to content the need of battle. Combines the manual identify and artificial intelligence technique, which can raise the rate of sea target radar echo identify automatic. Analyses the image character of radar echo, abstracts the knowledge and experience of manual identify, synthesizes the technique of pattern identify, image dispose and auto classify identify, and constructs the system of sea target radar echo image identify automatic. Result shows that the system improves the battle efficiency and target identify rate.

Key words: sea target; radar echo; identify automation; system realized

0 引言

警戒雷达对海上目标自动识别, 可称为当今世界性难题之一。针对雷达对海上目标自动识别问题, 目前国外主要在 4 个关键技术领域展开研究并取得了一些重要成果^[1]: 一是雷达识别舰船的物理机理和散射波数学模型的研究; 二是全程、全方位、高速、高精度、高保真警戒雷达回波信号的获取; 三是基于现代信号处理技术从雷达回波中分析和提取识别特征; 四是基于智能识别技术和提取的识别特征设计最佳分类器。由于舰船雷达目标特征信息在模式空间中的分布常常极为复杂^[2], 要获得其先验统计知识并用传统的模式识别方法来实现目标识别很困难。当前我国在目标的数据获取、特征提取和分类判决方面, 还没有取得突破性进展, 没有实用型产品, 主要原因是识别方法单一, 技术受限, 识别率不高, 难以满足实际应用要求^[3]。在雷达目标识别技术发展过程中, 依靠雷达操作手的经验积累, 对目标回波显示影像进行人工判别技术, 是发展时间最长、积累知识最多、使用最广泛的雷达目标识别技术, 将其与现代目标识别理论和智能技术相结合, 把人对图形识别的能力考虑进去, 在先进的现

代智能信号处理技术支持下, 建立起新的、实用的自动识别系统, 对各类海上目标形成高效的可资识别, 是雷达自动识别技术最具发展潜力的努力方向。笔者针对警戒雷达舰船真实回波, 将人工判别技术与先进的人工智能技术相结合, 构建了技术综合、操作快捷、面向作战的海上目标雷达回波图像自动识别系统。

1 海上目标雷达视频回波特征识别依据

1.1 雷达目标特征提取

雷达目标特征是雷达发射的电磁波与目标相互作用产生的各种信息, 隐含于雷达回波之中, 是雷达识别目标的主要信息来源^[4]。目前可用于雷达图像识别的回波特征可以划分为以下 4 类:

1) 回波特征: 包括回波的幅相波形, 反映了目标的综合信息; 回波频率、时宽、带宽、信号形式等, 反映了辐射源的类型; 极点、斜升响应, 反映了目标尺寸、结构等信息。

2) 雷达散射截面 RCS (redar cross section) 特征: 反映了目标的尺寸、形状、材料等信息, 不同时间、不同频率、不同极化、不同角度的 RCS 均包含了目标信息。

收稿日期: 2012-07-27; 修回日期: 2012-09-19

作者简介: 赵建华(1961—), 男, 辽宁人, 本科, 高工, 从事雷达系统仿真、雷达图像处理及应用研究。

3) 运动特征: 包括目标的高度、速度、加速度、轨迹、编队形式等运动特征; 回波频谱, 反映了地形、海况、气象等, 也能反映目标的分离过程, 可转换成音频信号用于识别。

4) 图像特征: 包括不同极化情况下的一维图像、二维图像、三维图像, 图像可以是 ISAR、SAR、红外图像、窄带散射点图像等。

雷达目标回波特征提取是对目标进行自动识别的基础。雷达自动识别中所需的 4 类特征以及一部分回波变化特征, 可以通过人工观察雷达回波的显影特征得到并形成目标判别知识^[5], 这是因为雷达操作手是通过雷达原始视频回波进行搜索、测量、判别、跟踪目标的, 通过长期积累, 有经验的雷达操作手对常见目标的判别准确率, 能够达到较高水平; 另一部分是图像细节特征, 人工难以观察的部分, 可以通过信号处理和计算机技术进行特征提取^[6]。如果将人工判别经验与现代自动识别技术巧妙结合, 技术上相互渗透和补充, 就能产生新的自动识别方法, 进而建立起基于雷达回波图像的新型雷达目标自动识别系统。

1.2 雷达回波特征人工判别知识提炼

对海上目标雷达回波进行人工判别, 是通过不同显示器对雷达回波的显像要素观察, 判别海上目标的回波特征, 具体判别依据、显示关系和判别方法归纳如下:

- 1) 判别目标类型: 观察目标运动要素, 分辨目标的类型 (P 显判别);
- 2) 判别目标发现距离: 目标第一次被发现或目标消失时的距离 (P 显判别);
- 3) 判别目标大小: 通过回波的大小、亮度、饱和和距离的不同进行判别 (P、A 显配合);
- 4) 判别回波形状: 回波形状与目标的几何形状有关, 能分辨目标个体差异 (A/R 显判别);
- 5) 判别回波稳定性: 回波稳定性与目标的形状、材料、大小、速度有关 (A/R 显判别);
- 6) 判别波内组织: 目标材料和结构差异, 形成不同的包络和跳动丝纹 (A/R 显判别)。

由于海上和空中小目标在不断运动、波动、晃动, 使得雷达对其散射的电磁波出现起伏现象对应的幅度谱也出现起伏效应, 且回波起伏与目标的结构有较大关系; 因此, 回波的包络和波内组织不但可以表示目标的大小, 还可以表示目标的性质情况^[7-9]。雷达操作手在 A/R 显上对海上小目标雷达

回波判别时, 可以归纳为“夹、跳、扭、弹、抖”5 种形状特征变化; 如木质渔船回波弱, 波内组织多而杂乱无序, 跳动频繁; 铁质快艇回波内丝纹清晰, 层次感强, 比较稳定, 弹跳有力、回波宽度较大。RCS 特征回波比较如图 1 和图 2 所示。

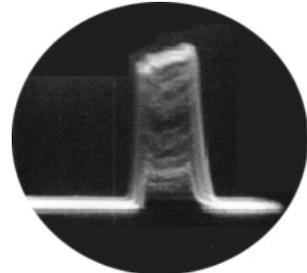


图 1 铁质快艇 RCS 特征回波

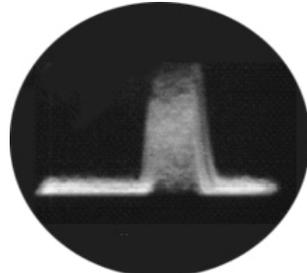


图 2 木质渔船 RCS 特征回波

2 雷达回波视频图像识别系统设计方案

2.1 雷达回波视频图像识别系统工程方法

雷达目标自动识别方法主要分为 2 种: 第 1 种是基于特征量的目标识别方法, 其核心内容是用特征矢量来表示目标, 并按照模式识别中描述贴近程度的距离及相关性程度设计目标的分类判决器; 第 2 种是基于成像的目标识别方法, 其核心内容是各种成像算法, 目标的识别过程就是对其表征的图像的理解过程。雷达回波视频图像自动识别系统的工程方法, 是采用特征量识别和成像识别 2 种基本方法相结合, 基于回波视频图像的基本要素和回波变化特征, 结合基于知识的模式识别方法, 把雷达操作人员在实践中逐步积累的知识和经验用简单的推理规则加以描述, 并转换为计算机语言, 利用这些规则可以获得与专家有同样识别效果的模式识别结果。具体工程方法和步骤如下:

- 1) 雷达视频回波人工判别目标特征的知识归纳和判决策略建立;
- 2) 构建海上目标雷达回波视频图像特征数据库;
- 3) 雷达回波视频图像分解和特征提取;
- 4) 基于内容的图像检索和图像匹配实现目标

分类:

5) 运用推理规则实现模式识别。

2.2 雷达回波自动识别系统组成

海上目标雷达回波视频图像识别系统由海上目标图像特征数据库、平时样本积累、战时智能识别、判决策略 4 大部分组成, 系统构成和信息流程如图 3 所示。

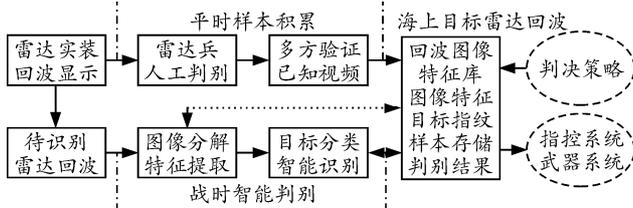


图 3 雷达回波自动识别系统组成框图

进行目标自动识别的基本原理和处理过程是: 平时, 雷达操作手在日常执勤工作中通过经验积累, 对目标的回波特征进行人工判别, 通过多方验证获得大量目标回波视频样本信号, 输入到海上目标雷达回波特征数据库; 同时, 对重要目标, 通过图像分解模块进行特征提取, 存储于回波特征数据库; 判别决策模块是人工智能回波判别专家系统, 对不同来源的雷达回波特征进行综合对比, 形成目标指纹, 并不断学习、积累和修正判别策略。战时, 对需要快速自动识别的雷达目标回波, 先检测未知回波图像中的目标特征信息, 根据特征数据库中大量样本所确定的鉴别函数, 依据推理规则判别决策, 在分类器中进行自动识别, 识别结果由数据库存储或输出。

3 判决策略与推理规则

3.1 雷达回波识别专家系统建立

目标识别专家系统要表现出智能理解和智能行为, 首要的一步便是掌握回波识别领域的大量概念、事实、关系和方法, 包括专家处理问题的各种启发知识^[10]。在雷达回波识别专家系统模型中的领域知识, 一部分由一线雷达专业技术人员(雷达操作手、基层骨干)提供; 另一部分通过汇集的大量重要目标回波录像资料, 经过雷达技术专家整理获得。最终实现对知识的形式化和知识的维护工作, 保证知识库的正确性、一致性以及完整性。

3.2 “判决策略”的构建和推理规则

“判决策略”是雷达目标回波视频图像识别系统的核心技术^[11]。基于知识的模式识别方法, 建立雷达回波显影特征的判决策略: 根据海上目标的分

类原则, 先将回波显影特征划分“共性策略”和“个性策略”2 部分; 共性策略是反映某一类目标的共同特性, 可以对目标进行粗略分类, 如大、中、小型目标分类, 低空目标与海上目标分类等; 个性策略是反映同类目标的个体差异, 是按照雷达回波“夹、跳、扭、弹、抖”5 种形状特征变化加以判别, 可以识别目标具体型号差别, 相当于目标“指纹”。在确定推理规则时, 按照“先共性, 后个性, 从共性中寻找个性, 从个性中判别目标”的程序进行。图 4 说明了部分水面舰艇回波的判决推理规则树的构建。

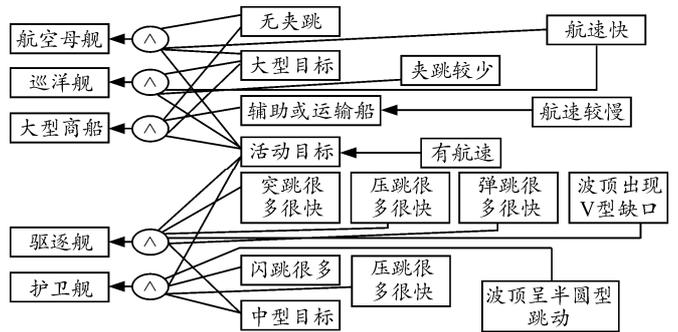


图 4 部分判决推理规则树

3.3 推理机制与转换

在雷达目标的人工判别过程中, 雷达操作手多采用正向推理, 即根据雷达回波的相关特性来推理出目标的实际属性。根据这一规则, 在雷达回波识别模型建立中, 知识推理采用了符合人类一般思维方式且易于实现、响应速度高的正向推理的方法。自底向上, 从底层的各雷达回波的特征和事实出发, 由推理得到顶层的基于这些特征和事实的结论。本系统中使用正向推理的算法步骤如下:

- 1) 选择规则前件库中第 I 条规则(初始值 I=1);
- 2) 根据规则的前提条件, 查找有无动态数据库事实支持;
- 3) 如果成功, 则将规则结论存入动态数据库中;
- 4) 选择下一条规则(I=I+1);
- 5) 重复上述各步骤, 直到得出最终结论或动态数据库不再发生变化为止。

根据正向推理的机制, 将雷达职手对目标回波判别的经验和知识, 利用 PROLOG 开发语言编程, 转换为计算机语言^[12]。举例表示如下:

```
target_is(“驱逐舰”): -it_is(“活动目标”),
-it_is(“中型目标”), -it_is(“作战舰艇”),
positive(“波顶出现 V 型缺口”), positive(“压跳
```

很多很快”)，positive(“突跳很多很快”)，positive(“弹跳很多很快”)。target_is(“水面状态潜艇”)：-it_is(“活动目标”)，-it_is(“中型目标”)，positive(“雷达回波稳定”)，positive(“波内丝纹较少”)，positive(“压跳很慢”)，positive(“无夹跳”)。target_is(“木质渔船”)：-it_is(“活动目标”)，-it_is(“小型目标”)，positive(“航速很慢”)，positive(“无波顶”)。

target_is(“导弹”)：-it_is(“活动目标”)，-it_is(“空中目标”)，-it_is(“小型目标”)，-it_is(“发现距离近”)，-it_is(“飞行高度

低”) -it_is(“相对稳定”)。

4 系统实现

基于雷达回波视频图像理解方法，利用目标视频回波的幅度细微结构特性和动态起伏特性，结合模式识别技术，运用判决推理规则库模型，完成对动态变化的舰艇雷达回波信号自动识别。首先将回波图像数字化，把图像定义为二次函数，它描述了图像所有点值(x,y)的像素矩阵，这些值是彩色测定的矢量值，不仅要描述图像轮廓数据，而且要描述轮廓内部细节数据，然后对这些数据转化分析，最终将和预先存储的模式相匹配以理解回波图像^[13-15]。

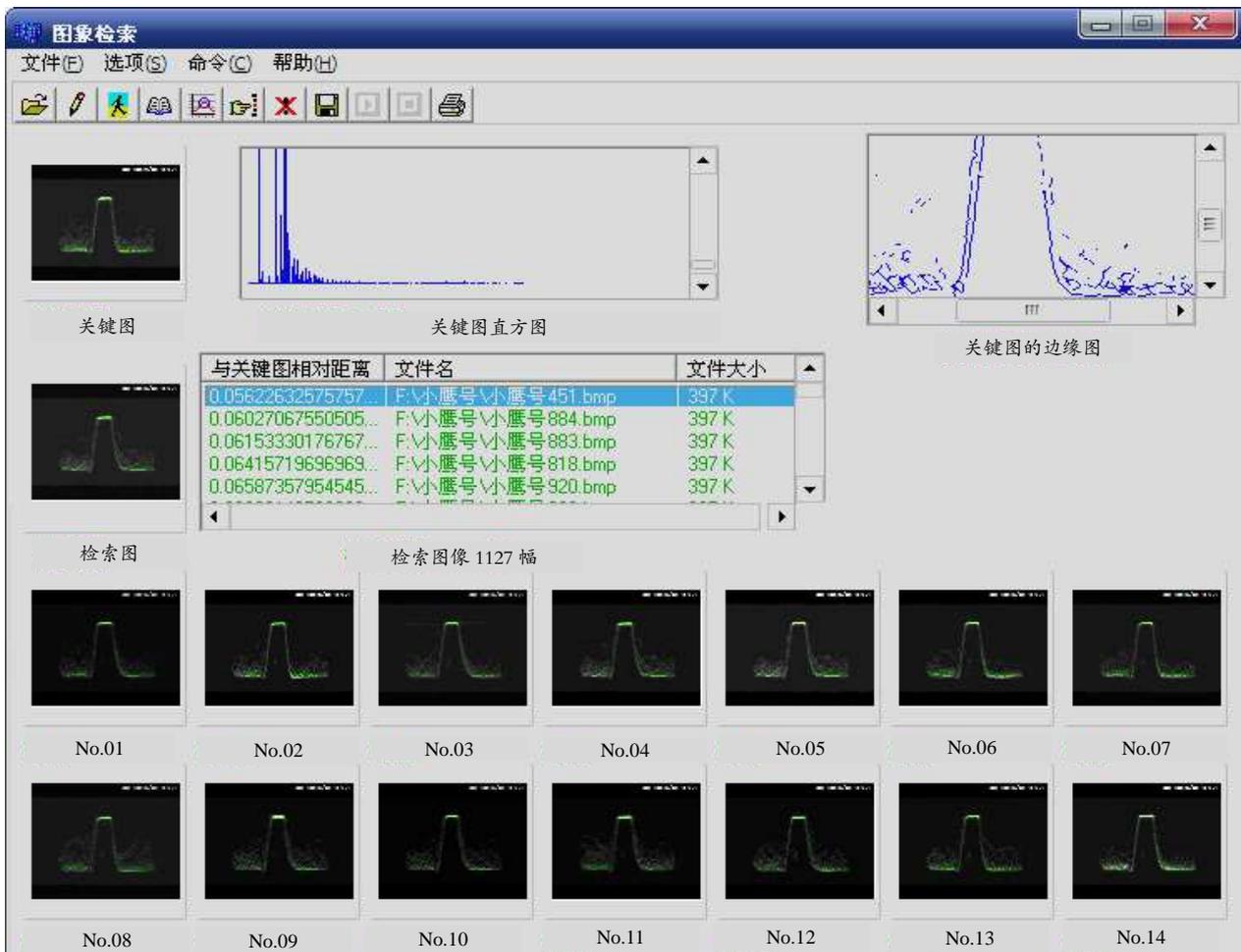


图 5 系统操作界面

笔者运用 Matlab 与 VC++语言，开发实现了基于雷达回波视频图像的智能识别原型系统。该系统由特征提取模块、检索模块、特征匹配模块、图像显示模块、图像库管理模块提供后台技术支持。图 5 为该识别系统操作界面，分为 4 个区域：1) 关键图像区(左上部)，用户可以对查询图像进行变更、编辑；2) 关键图特征显示区(右上部)，通过该界面

能够观察关键图的直方图和关键图的边缘图；3) 功能选择区(左上角)，可以在此区域内选择图像检索方式、图像库、视频文件、图像保存等各种功能，系统会根据所选方式，自动进行特征计算和检索；4) 检索或类别显示区(下半部分)，显示点选样本区域的样本图像而得到各类图像，显示检索出来的图像，这些图像是按照相似程度高低的顺序排列。

5 结论

系统试验结果表明: 人工判别的经验和知识, 能快速获得海上运动目标特征信息和目标要素信息, 极大地丰富分类判决模块中的已知类条件, 但受限于雷达精度和人员判别水平; 现代计算机图像分解特征提取技术, 则能提取人员观察不到的回波细节特征, 如对目标回波的幅度与相位测量, 能够提取运动目标对雷达的相对姿态的连续变化过程; 把两者融入人工智能技术并巧妙地结合, 能够提高目标特征信息提取的完整性, 促进目标回波视频图像样本积累, 较大幅度地提高海上雷达目标识别率和作战效率。

目前, 该系统属于试验样机, 达到了“开拓新的思路, 近乎实时地、容易理解地解决了警戒雷达对海上目标自动识别问题”的目标。下一步工作是设计实用样机, 进一步优化和改善雷达自动目标识别系统的整体性能, 与实装相结合, 进一步丰富雷达回波视频图像库中的样本, 达到实用效果。

参考文献:

[1] Sun Junping, Dai Yi. Research on ship target auto-recognition technique for low resolution radar[M]. Shanghai: CIE Press, 2006: 169.

[2] 李为民, 石志广, 付强. 舰船目标雷达回波特征信号的建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(9): 47-50.

[3] 丁建江. 防空雷达目标识别技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 35-58.

[4] Sowelam S M, et al. Waveform Selection in Radar Target Classification[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 2000, 46(3): 1014-1029.

(上接第 52 页)

[54] Mandersloot T, Wisse M, Atkeson C G. Controlling velocity in bipedal walking: a dynamic programming approach[C]. in Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2006: 124-130.

[55] Van Oort G, Stramigioli S. Velocity control of a 2D dynamic walking robot[C]. in Proceedings of the 26th Benelux Meeting on Systems and Control, 2007.

[56] Geng T, Porr B, Worgotter F. Fast biped walking with a sensor-driven neuronal controller and real-time online learning[J]. International Journal of Robotics Research, 2006, 25: 243-259.

[57] Geyer H, Seyfarth A, Blickhan R. Compliant leg behaviour explains basic dynamics of walking and running[C]. Proceedings of Royal Society B, 2006, 273: 2861-2867.

[58] Owaki D, Osuka K, Ishiguro A. On the embodiment that enables passive dynamic bipedal running[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008: 341-346.

[5] 陶勇, 胡卫东. 基于知识的雷达回波识别研究[J]. 现代雷达, 2009, 31(1): 62-68.

[6] Linde G. Use of Wide-band Waveforms for Target Recognition with Surveillance Radar[C]//IEEE International Radar Conference. 2000: 128-133.

[7] 许正荣, 昂志敏, 张晓丰. 雷达运动目标回波分析[J]. 微计算机信息, 2004, 20(6): 63-64.

[8] Martorella M, Giusti E, Demi L, et al. Automatic target recognition by means of polarimetric ISAR images: a model matching based algorithm[C]. Proc. of the Radar International Conference, 2008: 27-31.

[9] Greidanus H. Satellite imaging for maritime surveillance of the European seas[J]. Remote Sensing of the European Seas. New York: Springer, 2008: 343-358.

[10] Leung H, et al. Bayesian and Dempster-Shafer Target Identification for Radar Surveillance[J]. IEEE Trans. on AES, 2000, 36(2): 432-447.

[11] 皇厚宽, 高峰, 陈晓峰. 专家系统工具 HEST 的设计与实现[J]. 哈尔滨工程学院学报, 1990, 11(1): 61-67.

[12] 李春葆, 章启俊, 马玉枫. Turbo Prolog 程序设计技巧[J]. 计算机应用研究, 1990(6): 1-4.

[13] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.

[14] Michael D. Devore and Joseph A. O'Sullivan. Target-Centered Models and Information-Theoretic Segmentation for Automatic Target Recognition[J]. MULTIMENSIONAL SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING, 2003, 14(1-3): 139-159.

[15] Lui Hoishun, Shuley N V Z. Sampling procedures for resonance based radar target identification[J]. IEEE Transactions on antennas and propagation, 2008, 56(5): 1487-1491.

[59] Hosoda K, Takuma T, Nakamoto A, et al. Biped robot design powered by antagonistic pneumatic actuators for multi-modal locomotion[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2008, 56: 46-53.

[60] Takuma T, Hayashi S, Hosoda K. 3D bipedal robot with tunable leg compliance mechanism for multi-modal locomotion[C]. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008: 1097-1102.

[61] Rummel J, Blum Y, Maus H M, et al. Stable and robust walking with compliant legs[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010: 5250-5255.

[62] Tonietti G, Schiavi R, Bicchi A. Design and control of a variable stiffness actuator for safe and fast physical human/robot interaction[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005: 526-531.

[63] Kim S, Park S. Leg stiffness increases with speed to modulate gait frequency and propulsion energy[J]. Journal of Biomechanics, 2011, 44: 1253-1258.