

doi: 10.7690/bgzdh.2019.02.004

# 机器视觉技术军事应用文献综述

黄少罗<sup>1</sup>, 张建新<sup>1</sup>, 卜昭锋<sup>2</sup>

(1. 陆军工程大学石家庄校区军政基础系, 石家庄 050003;

2. 陆军工程大学石家庄校区装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

**摘要:** 针对机器视觉的广泛应用, 阐述机器视觉技术在军事上的应用情况。介绍机器视觉技术的发展史、原理、组成和应用优势。在分析机器视觉军事领域应用现状的基础上, 对机器视觉军事应用的发展趋势进行展望。

**关键词:** 机器视觉; 军事应用; 综述

**中图分类号:** TP317.4 **文献标志码:** A

## Literature Review of Military Applications of Machine Vision Technology

Huang Shaolu<sup>1</sup>, Zhang Jianxin<sup>1</sup>, Bu Zhaofeng<sup>2</sup>

(1. Department of Military &amp; Political Foundations, Shijiazhuang Campus of PLA University of Army Engineering, Shijiazhuang 050003, China;

2. Department of Equipment Command &amp; Management, Shijiazhuang Campus of PLA University of Army Engineering, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** For the wide application of machine vision, the application of machine vision technology in the military is expounded. Introduce the history, principle, composition and application advantages of machine vision technology. On the basis of summarizing the application status of machine vision in military field, the development trend of military application of machine vision is prospected.

**Keywords:** machine vision; military applications; review

## 0 引言

机器视觉是利用光学系统、工业数字相机和图像处理工具来模拟人类视觉和思维的技术, 旨在赋予机器可媲美人类的视觉<sup>[1]</sup>。视觉体系因其非触摸、速度快、精度高、现场抗干扰能力强等优点, 应用范围涵盖工业、农业、医药、军事、航天、气象、天文、公安、交通、安全、科研等行业, 并且还在逐步扩大<sup>[2]</sup>。机器视觉能突破人眼在速度、不可见光范围的极限, 提高武器装备信息获取能力的自动化程度, 是提高装备智能与自动化水平的关键。基于此, 笔者对机器视觉技术在军事上的应用进行研究。

## 1 机器视觉技术简介

### 1.1 机器视觉技术的发展史

机器视觉发展的起点可追溯到 20 世纪 50 年代以前的图像处理。随着数字计算机的出现, 20 世纪 50 年代提出机器视觉概念, 60 年代随着计算机技术的迅速发展开始 3 维机器视觉的研究, 70 年代真

正开始发展, 80 年代进入发展正轨, 90 年代发展趋于成熟, 而 21 世纪成为机器视觉技术大展宏图的世纪<sup>[3]</sup>。新概念、新技术、新理论不断涌现, 使得机器视觉技术处于非常活跃的研究领域。我国正成为世界机器视觉发展最活跃的地区之一。《中国机器视觉产业发展前景与投资分析报告》数据显示, 近年来, 全球机器视觉行业发展迅猛, 2015 年, 全球机器视觉系统及部件市场规模达 42 亿美元, 预计 2018 年市场规模将超过 50 亿美元<sup>[4]</sup>。

以 10 年为界定, 机器视觉的发展过程如表 1 所示。

表 1 机器视觉技术发展历程

年份	发展概况
1951—1960	概念提出: 统计模式识别, 2 维图像分析、识别和理解
1961—1970	开始 3 维机器视觉的研究, “积木世界”理论
1971—1980	开始发展: 出现了一些视觉应用系统, Marr 视觉理论
1981—1990	步入正轨: 全球性的研究热潮, 迅速发展
1991—2000	高速发展: 制造领域中广泛应用, 多视几何理论
2001—2010	模式识别系统出现, 迈进非制造领域
2011 至今	实用化迈进: 技术迅猛发展, 理论不断完善, 技术不断成熟

收稿日期: 2018-11-24; 修回日期: 2018-12-08

作者简介: 黄少罗(1965—), 男, 河北人, 教授, 硕士生导师, 从事装备保障研究。

## 1.2 机器视觉原理及组成

机器视觉系统是通过图像输入装置将被摄取目标获取图像信号,然后传送给专用的图像处理单元,通过数字化图像进行目标尺寸、形状、颜色的判别,进而得出判别结果并据此执行下一步动作控制<sup>[5]</sup>。

机器视觉技术是软件和硬件的结合。硬件方面包括相机、图像采集模块和计算机等;软件方面,主要通过对图像的分析处理,实现对待测目标特定参数的检测和识别。机器视觉原理及组成如图 1。

如今机器视觉技术已经实现了产品化、实用化。镜头、高速相机、光源、图像软件、图像采集、视觉处理器等相关产品功能日益完善,机器视觉技术在信息化时代正扮演着越来越重要的角色<sup>[6]</sup>。

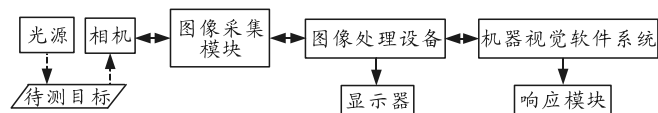


图 1 机器视觉原理及组成

## 1.3 机器视觉的应用优势

机器视觉在信息获取方面具有量大、速优、低成本的优点,在军事领域也具备先天条件,其技术应用优势见表 2。机器视觉将在军事领域中充分发挥巨大的优越性,大幅提高装备的自动化、智能化水平。

表 2 机器视觉技术应用优势

优势	具体说明
先进性	装备可视,环境适应性强,完成人工视觉无法完成的复杂任务
连续性	无疲劳期,保证工作一致性、连续性,避免人工操作失误
精度高	非接触式对部件进行精确测量,对脆弱部件无磨损、伤害,提高准确性和工作效率
灵活性	只需要对软件进行相应变化的升级即可满足新需求,通过更改软件可以有更好的可适应性、多样性、灵活性和可重组性
经济性	只需升级软件,不需更换价格高昂硬件

## 2 机器视觉的军事应用

水中机器视觉在军事领域的应用,将会极大地减少战时人员投入,提高武器装备智能化水平,在减少人员伤亡的同时,加强战场信息获取能力,拓宽信息的维度和广度,保证战场信息获取的及时性、准确性和处理智能化,更好地对作战各个过程进行控制,显著提高军事效益。

机器视觉具有极高的分辨精度和处理速度,在诸多指标上达到或超过人眼的视觉能力,并可以通过红外线、超声波、微波专用传感器成像等处理人

体无法感知的内容<sup>[7]</sup>。机器视觉几乎可以适用所有需要人眼的场合,尤其在探测不可视物体及在战场环境恶劣、高度危险等不适合、不需要战斗员亲历的场合,能避免人员参与,防范风险和危险,同时提高精度和速度,具有极为广阔的应用前景。

### 2.1 机器视觉军事领域应用现状

在军事领域,机器视觉的应用极为广泛。早在 20 世纪 80 年代,美军就在 SDI 防御每个不同的阶段(提振、后推动、中途和终点)运用一个或多个机器视觉功能来实现防范威胁弹道导弹的防御<sup>[8]</sup>。随着技术的不断发展,从遥感测绘、航天航空、武器检测、武器制导、目标探测、敌我识别到无人机和无人战车的驾驶,处处都有机器视觉技术的存在。其中的典型应用主要有巡航导弹地形识别、侧视雷达的地形侦察、遥控飞行器的引导、目标的识别与制导、警戒系统及自动火炮控制、侧视雷达的地形侦察等。

#### 2.1.1 在遥感测绘中的应用

在卫星遥感系统中,通过运用机器视觉技术分析各种遥感图像,进行自动制图、卫星图像与地形图校准、自动测绘地图;通过分析地形、地貌的图像及图形特征,实现对地面目标的自动识别、理解和分类等;遥感系统在军事侦察、定位、导航、指挥等的应用,使得我国在军事能力和国家安全上有了大幅度提升<sup>[9-12]</sup>。

#### 2.1.2 在航空航天中的应用

在航空航天领域,机器视觉应用于飞行器件的检测和维修、跑道识别、空中加油识别定位以及目标确认引导等。

文献<sup>[13]</sup>介绍了基于机器视觉的自动化系统在军用飞机机翼上钻出外部模具孔,进行沉孔检查的方法;文献<sup>[14]</sup>进行了基于单目机器视觉的 UAV 自主空中加油的实时水龙头识别和 3D 定位研究;文献<sup>[15]</sup>依托机器视觉解决了机场跑道识别的问题;文献<sup>[16]</sup>介绍了一种基于机器视觉的飞机对接引导和飞机类型识别的方法和系统;文献<sup>[17]</sup>设计了一种使用计算机视觉在跑道上基于条纹线的自动着陆辅助系统。

#### 2.1.3 在无人装备中的应用

无人装备包括无人机和无人战车等,要实现“无人”,就需要应用机器视觉。基于无人装备的侦察、

自主导航以及军事目标的识别也需要通过机器视觉技术的应用来实现。

文献[18]介绍了一种在美国国家自动化公路系统(automated highway system, AHS)和美国国防部高级项目机构等无人驾驶航空、自主公路导航、越野导航和无人驾驶飞行器目标检测等领域获得成功测试的机器视觉应用方法;文献[19]研究了机器人和无人驾驶车辆中机器视觉的使用,并提出应用机器视觉的美国陆军未来装甲装甲系统;文献[20]报道了美国国防高级研究计划署(defense advanced research projects agency, DARPA) Mind's Eye 计划要求开发无人驾驶智能相机以识别物体和动作, DARPA 寻求一种技术,改进具有足够视觉智能的无人地面车辆(unmanned ground vehicles, UGV),以报告观察领域的活动;文献[21]介绍了机器视觉无人机(无人驾驶航空器)在无准备场地的着陆情况下的应用;文献[22]公开了一种基于机器视觉的无人机定位着陆方法和系统,使无人机能以高精度降落或悬停在固定;文献[23]讨论了不同战争领域中目标识别技术的应用,总结其发展方向并提出了军事应用的实现方法。

#### 2.1.4 在武器检测中的应用

在武器检查领域中,研究人员运用机器视觉技术进行武器系统瞄准、炮管参数检测、火炮系统校准、射弹识别系统、自动战术弹药分类系统、枪械内膛疵病检测、枪弹表面质量检测等。

文献[24]报告了开发用于评估弹道,射弹射击武器系统瞄准精度的机器视觉系统;文献[25]中 LaserDot 开发出了一种新的机器视觉系统,用于移动机器人的障碍物检测,并在法国 Angers 技术中心(ETAS)的军事环境中进行吉普车测试;文献[26]介绍了采用机器视觉技术对火炮身管膛线参数进行检测的方法;文献[27]介绍了运用机器视觉技术实现对枪械内膛疵病的检测;文献[28]设计了基于机器视觉的目标识别系统,并证明该系统提高了火炮系统校准的效率,具有广阔的应用前景;文献[29]介绍了一种可用于开发射弹识别系统和自动战术弹药分类系统的机器视觉技术,可用于创建许多其他检测和自动识别系统;文献[30]进行了基于机器视觉的枪弹表面质量检测技术的研究,并将其用于枪弹质量检测中,不仅实现了枪弹质量的自动化检测,而且提高了精度和效率。

#### 2.1.5 在弹药测试中的应用

弹药测试领域中,研究人员运用机器视觉技术进行弹药外观检测、运用 ICT 技术进行弹药内部探伤、弹丸飞行速度及姿态的测试以及弹药射击精度测试等。文献[31]研究了机器视觉技术在弹药测试设备研制工作中的应用情况,并证明机器视觉在弹药测试领域技术大有可为;文献[32]介绍了一种采用 X 射线无损检测技术在炮弹识别中的应用,设计了一种 X 射线无损检测炮弹识别系统;文献[33]介绍了 ICT 在弹药检测中的应用情况和应用可行性。

在弹药速度测量方面,目前研究比较多的是炮弹及枪弹的速度测量。如:文献[34]提出了采用高速摄像系统对火箭弹离轨参数进行测量的方法,并给出了具体的参数计算公式;文献[35]介绍了一种基于大靶面光幕靶的小口径弹丸速度测试技术;文献[36]介绍了一种基于六天幕靶弹丸弹道末端飞行速度的测试方法,测试弹道末端弹丸的速度。

#### 2.1.6 在虚拟训练中的应用

在虚拟训练中的应用包括飞机驾驶员训练、医学手术模拟,战斗场景建模、战场环境表示等,可帮助士兵在训练中超越人的生理心理极限、“亲临其境”、提高训练效率。

文献[37]研究了 3D 立体视觉对战场可视化或灾难响应等命令和控制的应用,并进行了实验,完成了一些简单的军事规划练习;文献[38]提出使用立体 3D 视觉来提高军事行动中的情境意识,以提高对现代军事行动空间的理解;文献[39]利用 3D 视觉进行 3 维战术地图的全球战场解剖;文献[40]介绍了美国国防部高级研究计划局开启的一项名为“阿凡达”的项目,该项目旨在大幅提高作战效率,甚至改变传统作战样式,其采用的主体技术是以机器视觉为基础的人工智能;文献[41]介绍了一个关于使用 3D 显示器来帮助军方的远程操作员安全地使用机器人处置爆炸装置。

#### 2.1.7 其他军事应用

除以上应用外,在军事领域的其他方面,关于机器视觉的研究也有很多,比较典型的有战争控制、武器制导、作战口粮检测、军事视觉系统等。

1996 年开始,美国国防高级研究计划局(DARPA)主导研制了一种可应用于战争控制的视频监控系統,可在一些恶劣的环境中代替人力进行勘测、侦查和远程监控。文献[42-43]介绍了红外成

像制导弹自动目标识别的应用现状,分析了机器视觉在精确打击武器应用中的关键问题。文献[44]探讨了军事作战口粮检测机器人与机器视觉的可行性,基于模拟和经济分析,得出基于机器视觉的 MRE 袋自动检查在技术上和经济上都是可行的结论。文献[45]提出了一种可用于各种 NASA 科学任务和军事视觉应用的高度集成智能视觉系统。文献[46]介绍了一种用于苛刻的工业和军事应用(如计算机视觉和自动目标识别)中的成像系统。美军方于 2012 年研究的一项名叫 PIXNET 的技术,把视觉、近红外和红外传感器合成为一种便携式设备,可用于武器的瞄准器和头盔上,并可通过无线网络与整个班或排的军人分享其显示系统上的图像。文献[47]研究评估了 7 项 CV 测试,将机器视觉用于军事筛查的彩色视觉测试的性能比较。

## 2.2 发展前景

机器视觉系统对于未来武器装备的自动化、智能化来说是不可或缺的。虚拟训练、战场侦察、无人装备、精确保障等未来战场的新时代高要求,必将由机器视觉为基础的智能技术实现突破。在肯定机器视觉军事应用取得突破的同时,也应看到相应的应用标准还有待进一步规范,军事发展还有待进一步统筹。最重要的是需要认清我军与外军在视觉技术应用上的差距还很大,我国民用与军用的应用深度、广度差距还很大,亟需我们高度重视,大力推进与发展,缩小差距,为我军装备的高度智能化奠定坚实的基础。

随着科技的发展及机器视觉在军事领域应用范围不断扩大,必将出现更多新理论、新方法、新手段、新设备,相信不久的将来,更加小型化、智能化、无需网络的单机视觉设备将会应运而生,它们能够执行各类错综复杂的任务,完全自动化地运作。届时,其军用领域应用也将进一步扩展。

### 2.2.1 嵌入式高智能化系统成为趋势

在未来的机器视觉军事应用中,嵌入式系统将会扮演更重要的角色,嵌入式的高集成度、数字化、实时化和智能化视觉系统成为趋势。机器视觉系统逐渐向高度集成的嵌入式小型化迈进。数字化是机器视觉发展的必然趋势,精度更高,速度更快,算法也将更先进,机器视觉系统的实时性将更好,智能程度也将更高。届时,图像采集、处理实现实时化,嵌入式系统将具有更紧凑的结构、更低的成本

和功耗、更高的产品可靠性和更易于维护和升级。

军事领域对信息装备的成本、处理速度要求较高。采用嵌入式机器视觉系统,可以不再依靠计算机,从而具有极高的便携性,特别适合军事领域的高机动性、应用环境的复杂性特点,有助于减轻战场负担,满足未来战场便携性的高要求。

### 2.2.2 军事应用领域会更加广阔

首先,随着功能增多、性能提升和价格下降,视觉系统的较高性价比将逐渐上升,也将得到军方广泛认可;其次,产品的小型化有利于系统在装备有限的空间内应用,在军事领域的适用面将进一步扩宽;再次,高集成度使得微处理器和高性能帧采集器更具有智能性,最终实现“芯片上的视觉系统”,有助于视觉技术的军事应用开发和扩展。

视觉系统具有体积小、成本低、拆卸方便、可快速更新的优点,非常适合嵌入在军事装备内使用。一旦军方对视觉技术普遍需求得到快速响应,机器视觉在智能化军用装备领域的应用必将稳步发展。

### 2.2.3 高度的标准化和任务针对性

军事领域应用的特殊性,视觉系统的专业化及其接口的标准化需求催生系统的标准化。作为军事领域、军事特定应用的智能系统,因其需求比较固定,可以通过较少的硬件和软件算法来构成,在确保效率相对较高又降低成本的基础上达到专业化。此外,由于在军事领域存在着大量通信需求,视觉系统的接口也需支持现有的军用标准化通用协议。为规范视觉技术的军事应用,提高统筹建设能力,减少经费的盲目投入,亟需尽快制定视觉系统的军事化应用标准。

俗话说,“铁打的营盘流水的兵”,面对部队人员的频繁更迭代替,机器视觉需要成为使用简单的专用工具。视觉系统要能克服更多的人员、环境变化,简单针对一类军事问题具体解决。即把“视觉专业知识”优化集成,实现自动调用,使士兵在使用机器视觉工具时,需要了解的专业知识大大减少,只需关注任务性质即可。军用视觉系统将不断增强任务针对性,更加具备可移植性,在减少对人员素质依赖性的同时,提高其战场利用率。

### 2.2.4 3 维成像的开发及应用

机器视觉的军事应用发展,必定会涉及到 3D 视觉。随着研究人员应用专门的神经网络来帮助机器识别和理解现实世界的图像,如今的 3D 视觉功

能强大。从战场可视化、3 维战术地图、3D 立体识别、3 维重构到 3D 打印, 3 维技术在军事的各领域都有广阔的应用空间。目前的 3D 视觉军事应用主要集中于模拟训练领域, 随着技术的进步与发展, 3D 视觉的军事应用将更加丰富, 范围更加广泛。

### 3 结束语

机器视觉是实现武器自动化和智能化的必要手段。伴随着成本的下降和性能的提升, 其在军事领域的应用必然增多。视觉系统可在管理、作战中减少人力物力的投入, 提高工作效率, 必将在我军装备智能化进程中发挥巨大作用。

对于未来数字化信息化战场来说, 战场上万物的数字化是前提, 而机器视觉在这个过程中将发挥重要作用。我军应充分认清机器视觉军事应用的大趋势, 持续聚集资源, 大力研发并推出高性能的机器视觉组件, 结合军工自动化, 不断丰富智能武器装备, 为基层部队提供能够满足智能制代军事需求的解决方案, 助力我国军工迈向“智造”新时代, 助力战斗力提升走进“芯”时代。

### 参考文献:

- [1] 高丽萍. 基于嵌入式系统的机器视觉技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2012: 1-2.
- [2] 张文. 基于机器视觉的通信装备故障识别研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015: 2-3.
- [3] 陈兵旗. 机器视觉技术及应用实例详解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 1-6.
- [4] 华研中商研究院. 中国机器视觉产业发展前景与投资预测分析报告[R]. 华研中商研究院, 2017.
- [5] HARRIS C G. Geometry from visual motion[C]//Active Vision. MIT Press, 1992: 264-284.
- [6] 韩九强. 机器视觉技术及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 1-4.
- [7] 孙国栋, 赵大兴. 机器视觉检测理论与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 215-247.
- [8] STONER W W, BRILL M H, BERGERON D W. Adaptive Machine Vision[R]. United States:Annual Report, 1989: 1-17.
- [9] 廖梦怡, 刘建芳. 远程卫星遥感图像的三维视觉重建模型仿真[J]. 计算机仿真, 2015, 32(7): 32-35.
- [10] 王星, 邵振峰. 基于视觉显著点特征的遥感影像检索方法[J]. 测绘科学, 2014, 39(4): 34-38.
- [11] 焦润海, 李元诚, 侯京彪. 基于视觉模型和图像特征的遥感图像压缩[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(2): 197-201.
- [12] 张立保. 基于区域增长的遥感影像视觉显著目标快速检测[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 205-211.
- [13] FREEMAN P A. Robust Method of Countersink Inspection Using Machine Vision[J]. SAE 2004 Transactions Journal of Aerospace, 2004, 113(1): 91-96.
- [14] WANG X F, KONG X W, ZHI J H. Real-time drogue recognition and 3D locating for UAV autonomous aerial refueling based on monocular machine vision[J]. 中国航空学报(英文版), 2015, 28(6): 1667-1675.
- [15] MOORE A J, SCHUBERT M, DOLPH C, et al. Machine Vision Identification of Airport Runways with Visible and Infrared Videos[J]. Journal of Aerospace Computing Information & Communication, 2016, 13(7): 1-12.
- [16] DENG L, ZHANG Z, XIANG W, et al. MACHINE VISION-BASED METHOD AND SYSTEM FOR AIRCRAFT DOCKING GUIDANCE AND AIRCRAFT TYPE IDENTIFICATION:, WO 2016015547 A1[P]. 2016.
- [17] SENPHENG M, RUCHANURUCKS M. Automatic landing assistant system based on stripe lines on runway using computer vision[C]// International Conference on Science and Technology. IEEE, 2016: 35-39.
- [18] BULUSWAR S D, DRAPER B A. Color machine vision for autonomous vehicles[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1998, 11(2): 245-256.
- [19] WILSON J R. Machine Vision[J]. Military & Aerospace Electronics, 2001, 12(8): 14.
- [20] KELLER J. Artificial intelligence and machine vision for unmanned vehicle smart cameras is aim of DARPA Mind's Eye program[J]. Military & Aerospace Electronics, 2010, 21(5): 36-39.
- [21] MILLER A, MILLER B. Stochastic control of light UAV at landing with the aid of bearing-only observations[C]// Eighth International Conference on Machine Vision, 2015: 987529.
- [22] DENG C, WANG S W. Machine vision-based unmanned aerial vehicle positioned landing method and system: CN 105388908 A[P]. 2016.
- [23] 强勇, 张冠杰, 谷月东. 目标识别技术及其在现代战争中的应用[J]. 火控雷达技术, 2005(3): 1-5.
- [24] MOBASSERI B G. Projectile impact detection and performance evaluation using machine vision[C]// Applications of Computer Vision, Proceedings, 1992. IEEE Workshop on. IEEE, 1992: 248-254.
- [25] CHABASSIER G, GAFFARD J P. Machine Vision System for Real-time Obstacle Detection[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1992, 1615: 266-278.
- [26] 线参数检测技术研究[J]. 兵工学报, 2004, 25(2): 134-138.
- [27] 刘立欣, 王文生, 刘广利. 枪栓内膛疵病图像的边缘检测算法[J]. 兵工学报, 2005, 26(1): 105-107.
- [28] LI X, YIN M, HUANG S. Design of Target Recognition System Based on Machine Vision[C]// International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. IEEE, 2010: 1-4.
- [29] BEACH G J, MOODY G, BURKOWSKI J, et al. Portable

- composable machine vision system for identifying projectiles: US, US 20140132755 A1[P]. 2014.
- [30] 杜海静. 基于机器视觉的弹底缺陷与枪弹批号检测技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [31] 韦宏强. 机器视觉技术在弹药测试设备中的应用研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [32] 王百荣, 张国华, 蒋以山. X射线无损检测在炮弹识别中的应用[J]. 核电子学与探测技术, 2006, 26(1): 14-15.
- [33] 王坚, 张洪伟. ICT在弹药检测中的应用[J]. 无损检测, 2004, 26(9): 441-443.
- [34] 苏增立, 王建军, 高昕, 等. 高速摄像系统用于火箭弹离轨参数测量方法研究[J]. 飞行器测控学报, 2003, 22(4): 80-83.
- [35] 倪晋平, 蔡荣立, 田会, 等. 基于大靶面光幕靶 30mm口径弹丸速度测试技术[J]. 测试技术学报, 2008, 22(1): 17-23.
- [36] 倪晋平, 侯宏录, 孙建, 等. 基于六天幕靶弹丸弹道末端飞行速度的测试[J]. 测试技术学报, 2007, 21(2): 117-120.
- [37] WOLFE B, KIM B, AESCHLIMAN B, et al. Evaluating 3D Vision for Command and Control Applications[M]// Advances in Visual Computing, 2013: 747-756.
- [38] ZOCCO A, LIVATINO S, PAOLIS L T D. Stereoscopic-3D Vision to Improve Situational Awareness in Military Operations[J]. 2014, 8853: 351-362.
- [39] 陈小会, 郭志, 饶建春. 3维战术地图“解剖”全球战场[J]. 环球军事, 2013(14): 43-45.
- [40] 李旭光, 刘克龙, 韩奕彬. “阿凡达”离战场还有多远?[J]. 科学大观园, 2012(13): 38-39.
- [41] HOLTON C. Machine Vision Saves the World[J]. Vision Systems Design, 2010, 15(6): 3.
- [42] 范晋祥, 张渊, 王社阳. 红外成像制导导弹自动目标识别应用现状的分析[J]. 红外与激光工程, 2007(6): 778-781.
- [43] 陈玉波, 陈乐, 曲长征, 等. 红外制导技术在精确打击武器中的应用[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(z2): 35-38.
- [44] DUNN S M, BURDEA G C, TING K C. Feasibility of Robotics and Machine Vision in Military Combat Ration Inspection (Short Term Project STP No. 11)[J]. Legal & Criminological Psychology, 1994, 8(1): 83-101.
- [45] FOGEL D B. Low-power smart vision system-on-a-chip design for ultrafast machine vision applications[J]. Proc Spie, 1998, 3390: 666-675.
- [46] SGRO J A. The use of the Philips TM1X00 for machine vision[Z]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1999.
- [47] WALSH D V, ROBINSON J, JUREK G M, et al. A Performance Comparison of Color Vision Tests for Military Screening[J]. Aerospace Medicine & Human Performance, 2016, 87(4): 382.