

# 机器人操作系统

Robot Operating System



东北大学 张云洲

# 主要内容

- 什么是机器人操作系统？
- ROS的起源和发展
- ROS的优势及发展
- ROS的典型实验平台
- 国内机器人操作系统发展

# 机器人即将崛起

□ 2007年1月，比尔·盖茨在《科学美国人》上撰文预言：  
**机器人即将重复个人电脑崛起的道路**

◆ 机器人行业现今面临的挑战，和30年前电脑行业遇到的问题“如出一辙”

- 流行的应用程序很难在五花八门的装置上运行
- 代码无法复用

◆ 原因

- 硬件：标准化工作未开始
- 软件：没有操作系统



■ 媲美30年前的一篇文章：1977年9月Intel公司创始人罗伯特·诺伊斯撰文预言计算机将走进千家万户

我们站在时代的节点：一个崭新的产业即将崛起。

——比尔·盖茨

# 机器人操作系统的兴起



- 微软的机器人开发平台RDS  
（Robotics Developer Studio）
  - 目标是开发不同机器人硬件平台的应用程序
    - 与机器人或控制计算机平台的Windows配合
  - 2006年12月推出第一版，最新版本RDS 4为2012年3月发布
    - 不开放源代码，但可免费下载
  - 有60家以上的硬件/软件厂商支持或使用该软件开发工具
    - 例如乐高公司

# 机器人操作系统的兴起

- 开源的机器人软件项目
  - 开源机器人基金会的ROS
  - 美国的Player/Stage
  - 欧洲的Orocos
  - 欧洲的YARP
  - 日本的OpenRTM-aist
  - .....

ROS

Player Stage



The Orocos Project  
*Smarter control in robotics & automation!*



YARP 2.3.63  
Yet Another Robot Platform



# 什么是机器人操作系统？

机器人是由程序控制运行的机械装置，  
能脱离人的直接干预而独立形成判断

## — 三个组成部分

- 计算机
- 机械机构
- 电子设备

# 什么是机器人操作系统？

- 机器人操作系统是运行在机器人中、管控机器人的软件体系
  - 定义了机器人的功能和特性——软件“定义”机器人
- 与计算机操作系统存在诸多不同
  - 软件架构
  - 运行机制
  - 功能
  - 人机交互方式
  - 使用

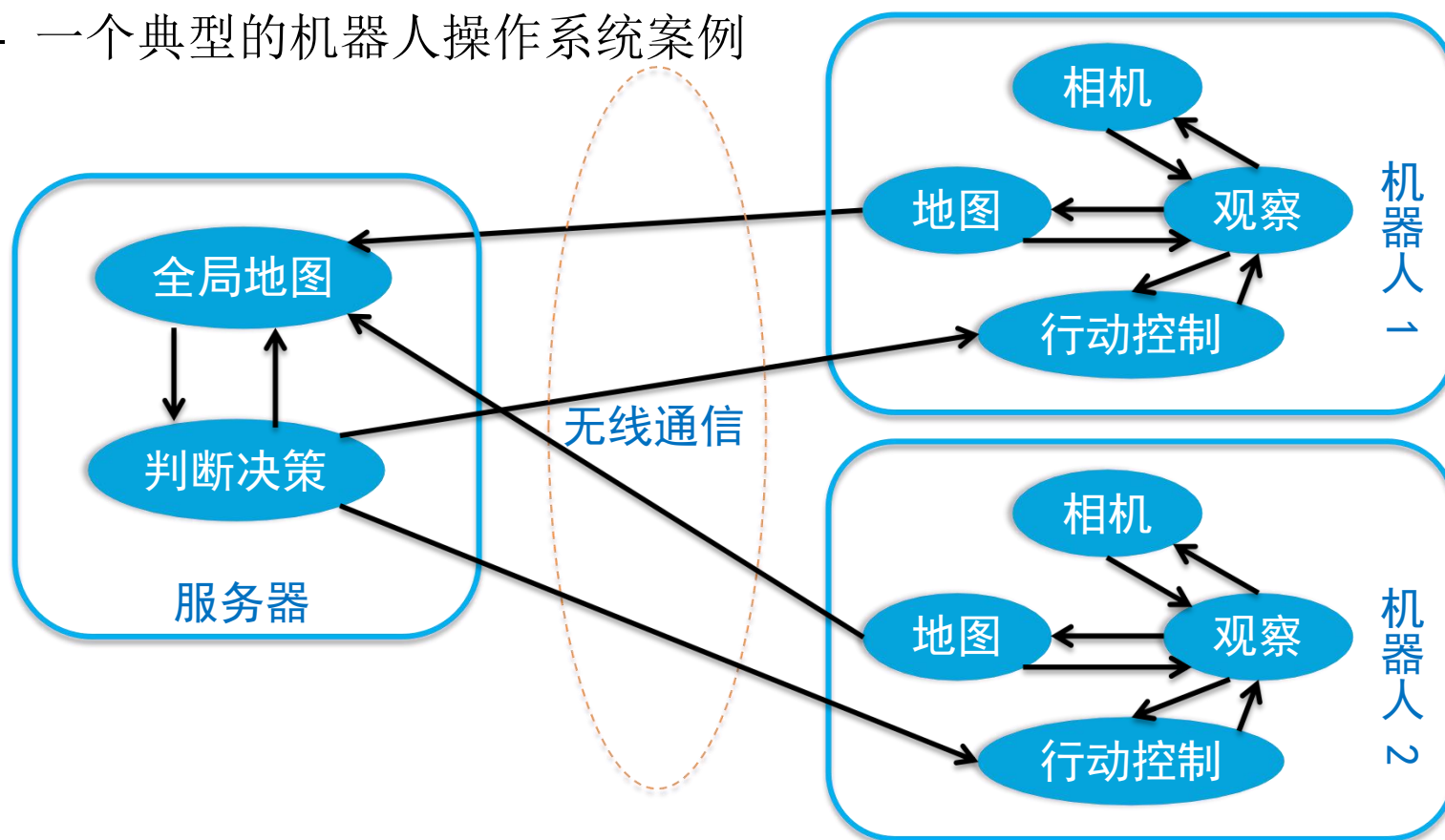
# 什么是机器人操作系统？

- 软件架构——横向上的分布式结构
  - 机器人的软硬件模块构成分布式结构
    - 传感器节点
      - 摄像机、激光扫描测距仪、GPS、惯性测量单元、声呐等
    - 计算存储通信节点
      - 运行判断、规划决策等算法
      - 地图、知识库等
      - 无线通信模块、消息等
    - 控制执行节点
      - 对机械臂等执行部件的行动控制
  - 多机器人也构成分布式结构
    - 多个异构的机器人节点
    - 后台服务器节点等



# 什么是机器人操作系统？

- 软件架构——横向上的分布式结构
  - 一个典型的机器人操作系统案例



# 什么是机器人操作系统？

- 运行机制——执行“**观察—判断—决策—行动控制**”闭环行为链
  - 通过传感器观察环境和自身状态
  - 根据观察，形成判断
  - 进行决策，产生行动方案
  - 控制行动的过程
- 人机交互方式
  - 输入：任务、环境、自身状态
  - 输出：机器人的行动

# 什么是机器人操作系统？

- 功能

- 资源管理

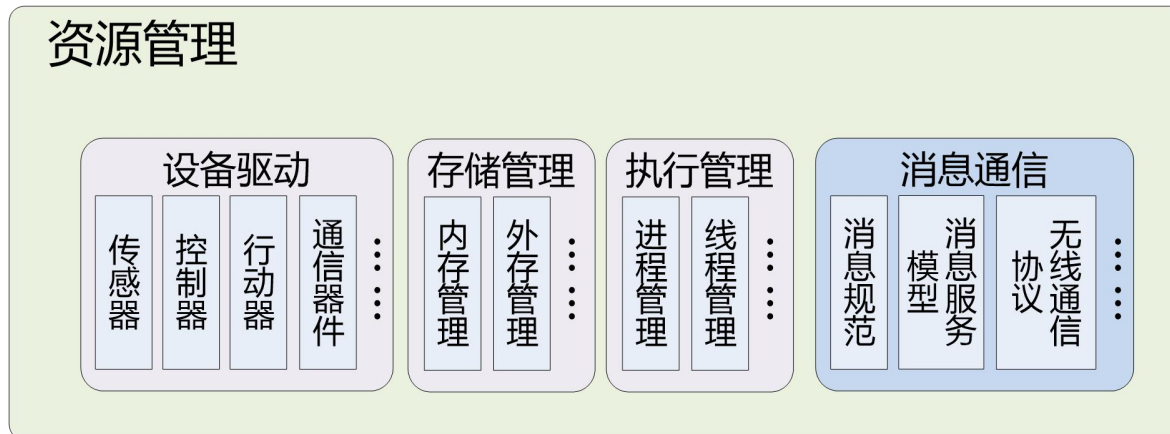
- 管理软硬件、数据资源
    - 满足传感器驱动、行动控制、无线通信、分布式构架等机器人的特殊要求

- 行为管理

- 实现行为的抽象和管理，支撑行为的智能化
    - 管理“观察—判断—决策—行动控制”闭环链的调度执行
      - 提供可复用的共性基础软件库和工具
    - 满足行为的可靠性（dependency）约束

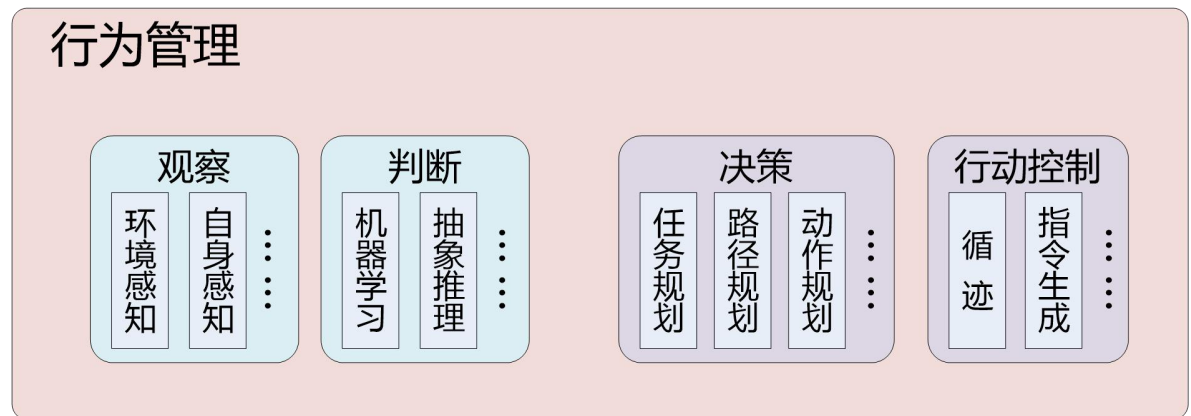
# 什么是机器人操作系统？

- 软件架构——资源管理层
  - 管理和控制机器人硬件资源，屏蔽机器人硬件资源的异构性，并以优化的方式实现对硬件资源的使用
    - 处理器、存储器
    - 通信设备、各类传感器、行为部件等外设
  - 管理机器人软件资源，实现软件的部署、运行和协同
  - 管理数据的传输、存储和处理
  - 提供人机交互接口



# 什么是机器人操作系统？

- 软件架构——行为管理层
  - 管理与控制机器人的高级认知（例如观察、判断、决策），并将其转化为作用于物理世界的行动
    - 观察
    - 判断
    - 决策
    - 行动



# 什么是机器人操作系统？

- 使用——机器人是一个“**用具（Appliance）**”

实际上，随着移动式外设的日益普及，我们可能越来越说不清到底什么才是机器人。这些机器人的功能高度专业化，深入千家万户，但外貌却跟科幻作品中那些两足拟人机器大相径庭

——比尔·盖茨

# 与传统计算机操作系统的区别

	计算机操作系统	机器人操作系统
架构	分核内/核外两层，实现资源管理	分资源管理、行为管理两层
运行机制	进程/线程模型	观察—判断—决策—行动控制的执行链
功能	管理硬件、软件、数据等资源	除传统资源外，还管理行为
人机交互	输入数据和算法，反馈数据结果	观察环境和自身状态，反馈行动
从应用角度看	工具——实现各种各样信息处理	用具——面向领域执行特定任务
协同	互连、互通、互操作	互操作、互理解、互遵守
关注点	可管理性、实时性、可用性、安全性等	+ 自主性、生存性、对抗性等

# 软件在机器人领域的地位

**“Robotics is really a  
software problem. It is not  
a hardware problem.”**

——Google 架构师、ROS 创  
始人 Scott Hassan





# 机器人操作系统（ROS）的起源

- 起源于2007年斯坦福大学AI Lab的Personal Robots项目
- 2008年之后由Willow Garage公司推动，与PR2共同成长
  - ◆ 希望借助开源力量使PR2变成“全能”机器人
  - ◆ Willow Garage选择11家顶级机器人研究机构，免费提供PR2（40万美元）和ROS，要求参与的机构发布其软件代码和理论研究成果
  - ◆ Freiburg, GIT, MIT, Stanford, TUM, UC Berkeley, UP GRASP, Tokyo.....
- 2010年3月，ROS发行第一个版本Box Turtle
- 目前包含了2000多个机器人平台的常用软件包涵盖了硬件驱动、模拟仿真、运动规划、运动控制、环境感知等各个方面

# ROS发展历程——版本历史



Box Turtle

Box Turtle  
2010年3月



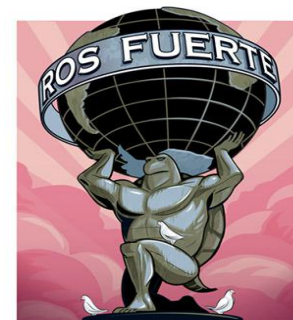
C Turtle  
2010年8月



Diamondback  
2011年3月



Electric Emys  
2011年8月



Fuerte Turtle  
2012年4月



Kinetic Kame  
2016年5月



Jade Turtle  
2015年5月



Indigo Igloo  
2014年7月



Hydro Medusa  
2013年9月



Groovy Galapagos  
2012年12月

## Open Source Robotics Foundation

# ROS Eight Years

[纪念视频](#)

# ROS的优势

- 学术先进性

- 开源的魅力

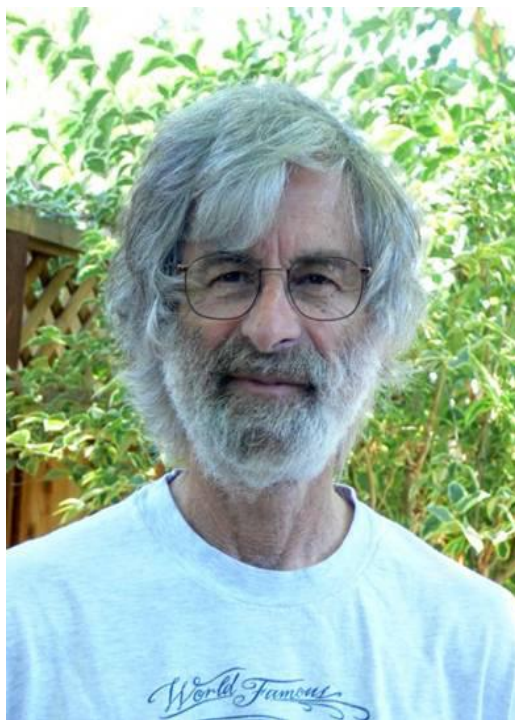
  - ◆ Linux、LaTeX、git

  - ◆ **ROS**

- 模块化

- 可移植

- 易扩展



Leslie Lamport



Linus Torvalds

# ROS支持的机器人

- 地面移动机器人
- 空中移动机器人
- 水面移动机器人
- 工业机器人

<http://robots.ros.org/>



Adept MobileRobots  
Pioneer family (P3DX,  
P3AT, ...)



Adept MobileRobots  
Pioneer LX



Adept MobileRobots  
Seekur family (Seekur,  
Seekur Jr.)



Aldebaran Nao



Allegro Hand SimLab



AMIGO



AscTec Quadrotor



Barrett Hand



BipedRobin



Clearpath Robotics  
Grizzly



Clearpath Robotics  
Husky



Clearpath Robotics  
Jackal



Clearpath Robotics  
Kingfisher



CoroWare Corobot



Cyton-Gamma



Denso VS060



Dr. Robot Jaguar



Eddiebot



Erie-brain



Erie-copter



# ROS支持的机器人

- 地面移动机器人
- 空中移动机器人
- 水面移动机器人
- 工业机器人



Erle-HexaCopter



Festo Didactic  
Robotino



Fraunhofer IPA Care-  
O-bot 3



Fraunhofer IPA Care-  
O-bot 4



Gostai Jazz



Innok Heros



Intel Edison



iRobot Roomba



Kawada Nextage / Hiro



Kinova JACO



Kinova MICO



Kobuki



Komodo



Lego NXT



Lizi



Maggie



Merlin miabotPro



Nav2



Neobotix mp-500



Neobotix mpo-500

# 引领机器人相关产业

## ■ IEEE Spectrum报告：

- ◆ 仅2015年，相关风险投资机构就在基于ROS操作系统的机器人公司投资了超过1.5亿美元。
- ◆ 此外，许多大型企业开始注意这个操作系统，例如，Nvidia、博世、高通、英特尔、宝马以及大疆等。

# 应用火爆的ROS

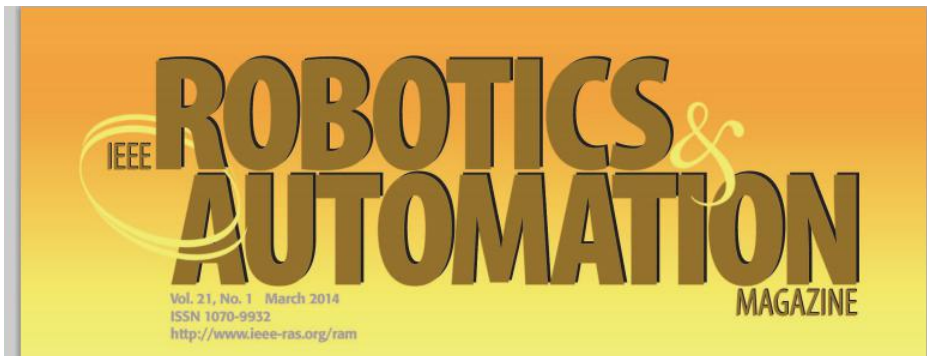
- Robotics & Automation Magazine, IEEE
- 该杂志上设立了专题讨论区：ROS Topics
- 下方图片是在最新一期中ROS Topics的论文

# ROS

ROS TOPICS

## ROS Expands the World for Quadriplegics

By Steve Cousins and Henry Evans



The most compelling use of personal robots is to provide assistance for people with disabilities. For example, many quadriplegics can now move about and interact with the world outside their bodies using telerobotics. Over the past few years, the Robots for Humanity project has experimented with telerobotics, using robots ranging from the powerful PR2 from Willow Garage to rela-



Figure 1. Henry Evans controlling a PR2 robot using a head tracker and custom user interface.

build the interface that Henry imagined (and sketched out using PowerPoint) (Figure 1). Henry surprised everyone with how he used the PR2 once he had control of it: he moved the PR2's gripper to his face, and used it to scratch an itch, something he had not been able to do for himself in almost ten years (Figure 1).

The Willow Garage-sponsored Robots for Humanity project went on for over two



# ROS正成为事实标准

“Since version 1.0 was released in 2010, ROS has become the *de facto* standard in robotics software.”

—— 《MIT Technology Review》 , 2013

# ROS对机器人领域研究的影响

- 数据共享：ROS定义数据的标准
- 代码共享：基于ROS的软件包
- 论文打假：审稿人要求作者提供数据和代码

Auton Robot (2013) 34:149–176  
DOI 10.1007/s10514-012-9317-9

---

## OpenRatSLAM: an open source brain-based SLAM system

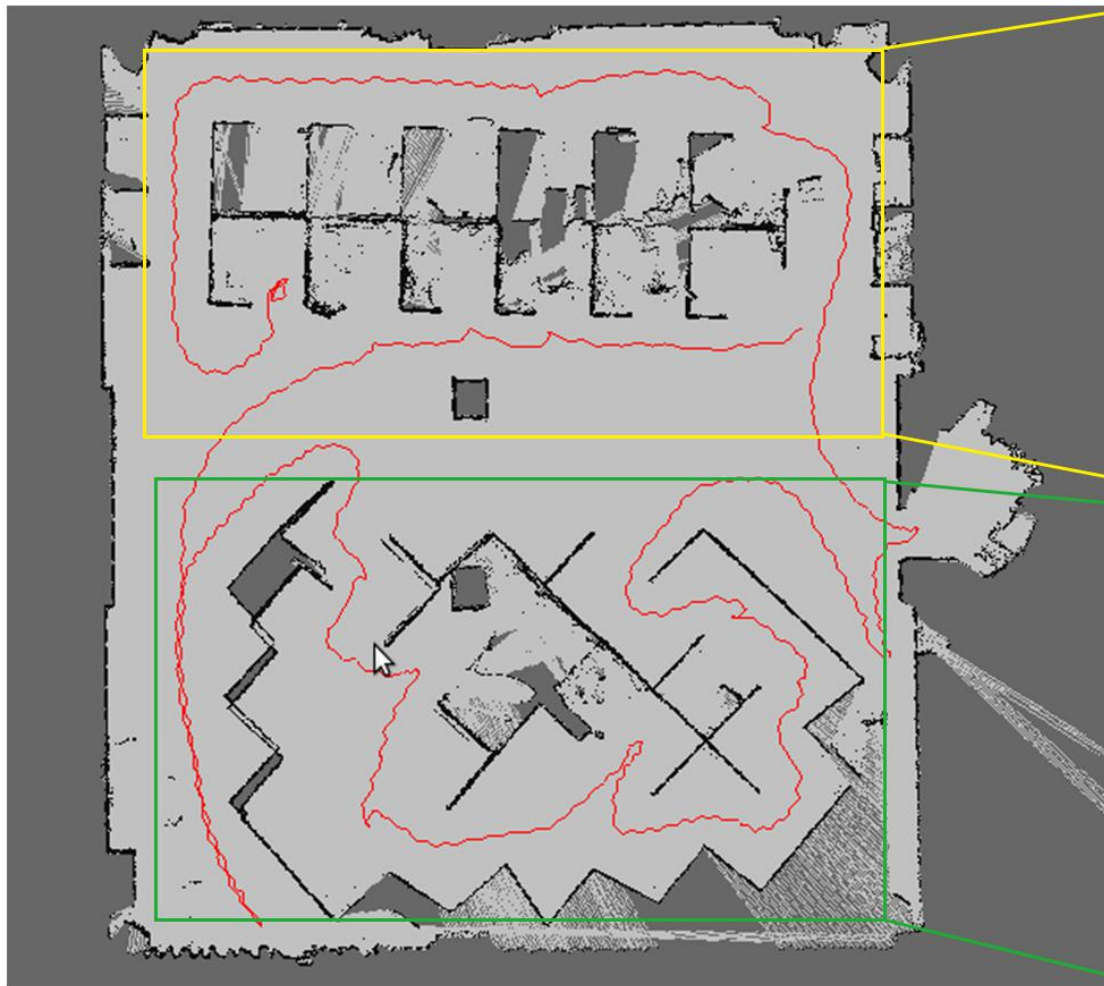
David Ball · Scott Heath · Janet Wiles ·  
Gordon Wyeth · Peter Corke · Michael Milford

# 应用火爆的ROS

- 新加坡南洋理工大学（NTU）机器人相关实验室大家都在用，已经形成了全民一起上的局面
- 所见的应用设备：
  - Pioneer3AT/DX
  - Kinect
  - AR.Drone
  - TurtleBot



# ROS在救援机器人上的应用



(a) 自主探索实验结果



(b) 实验环境图片

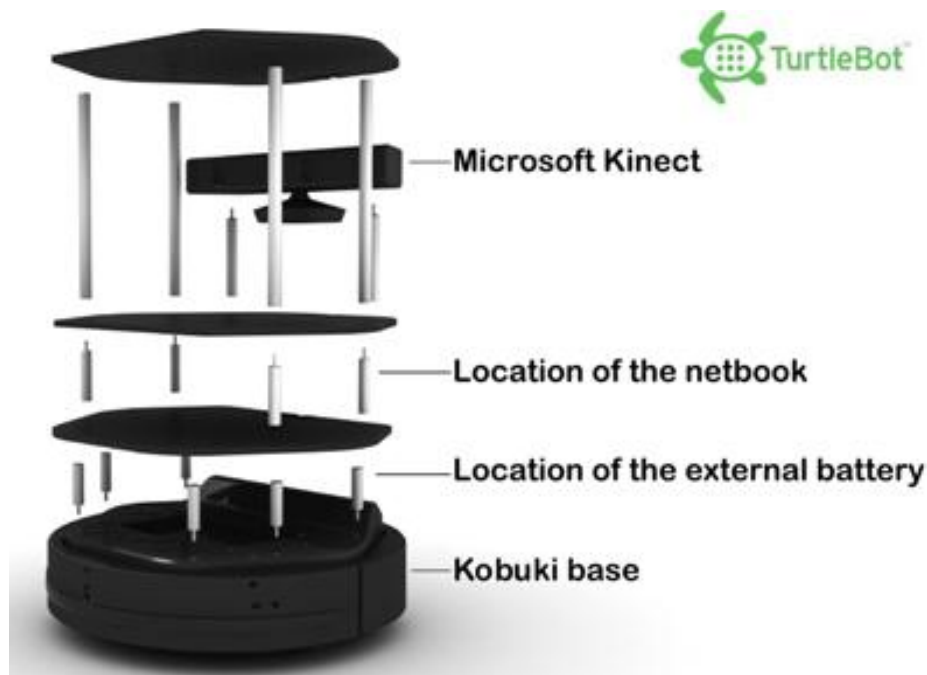
# 提醒

---

- 虽然ROS的名字为“机器人操作系统”，但不是真正的操作系统，只是可以提供类似于操作系统的一些服务，比如底层通讯、分布式控制。
- 对于机器人的相关功能，不使用ROS也能实现，但ROS使得机器人软件搭建的工作更方便，效率更高。

# TurtleBot教学机器人

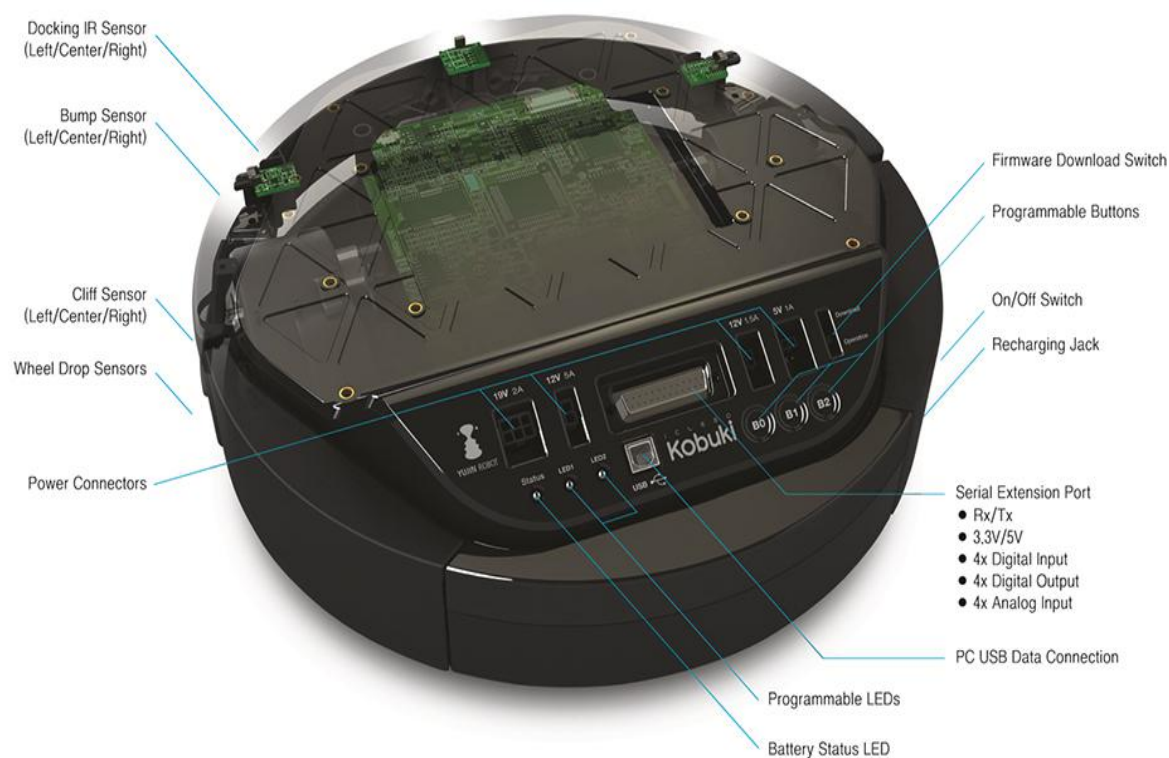
- TurtleBot是一个价格低廉、软硬件开源的机器人开发平台，操作简单、可扩展性强
- 硬件： Kobuki 移动底盘， Kinect视觉传感器， 双核笔记本， 可装卸的结构模块
- 软件： TurtleBot开发工具包， 规划、感知、控制和显示函数库， 演示例程
- 能实现3D地图创建、自主导航、人脸识别、目标跟随等功能





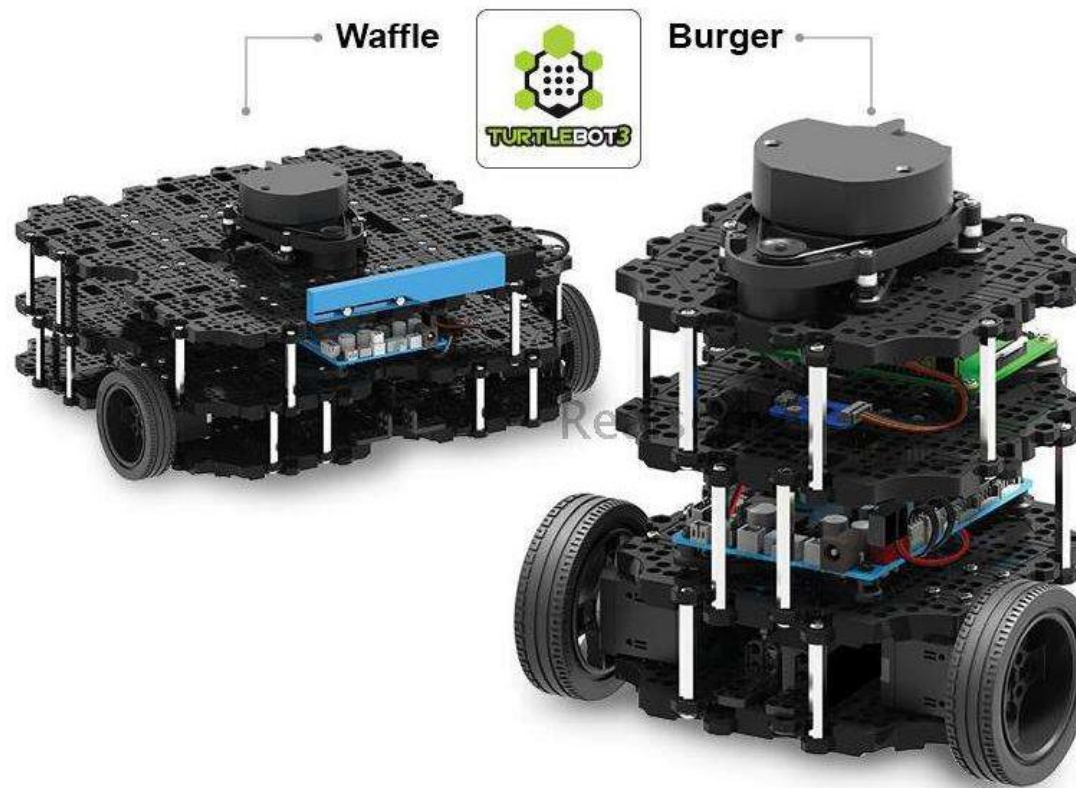
# TurtleBot2底盘—Kobuki

- TurtleBot2采用韩国公司的Kobuki作为其底盘
- Kobuki底盘搭载的传感器包括（如右图所示）：红外传感器、碰撞检测器、防跌落传感器、微机电捷联惯导系统（MEMS IMU）



# TurtleBot3

---



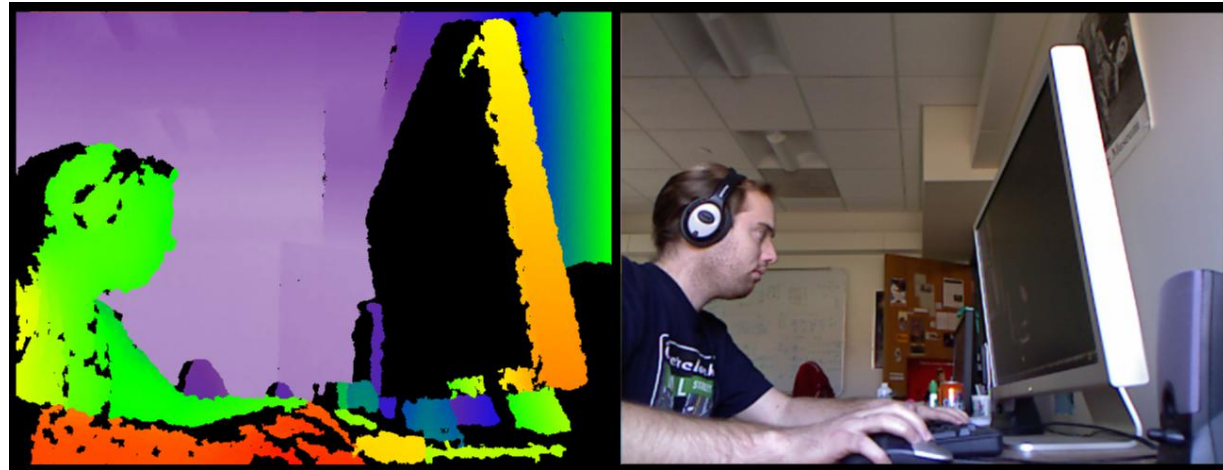


# Kinect摄像头

- Kinect有三个镜头，中间的镜头是 RGB 彩色摄影机，用来采集彩色图像。左右两边镜头则分别为红外线发射器和红外线CMOS 摄影机所构成的3D结构光深度感应器，用来采集深度数据（场景中物体到摄像头的距离）。
- 借助Kinect能实现3D地图创建、自主导航、人脸识别、目标跟随等功能。
- ROS下提供驱动及大量应用的源码。



Kinect摄像头



Kinect典型数据

# 机器人操作系统（ROS）的不足

---

- ROS将功能分布在各个节点之中，节点间基于消息机制通信，**消耗了很多系统资源**。尤其是当所有节点位于同一个处理器时，ROS仍然一直执行相应的消息分发，节点间的数据传递通过内存复制，大量的系统资源都浪费在通讯上，使得系统必须选用高性能的处理器和存储系统以弥补损耗。

- 兼容性不足。ROS基于Linux系统、运行于x86芯片，**芯片成本和软件开发成本都相当高**，开源的ROS操作系统在基于MTK、高通或其它的支持安卓系统的芯片上也难以很好地运行。

- ROS是开源的，开发者经常更改接口，造成模块互相**兼容性差**等问题，并不适合商用服务机器人行业。

**总结：ROS更适合科研和开源用户使用**，在工业场景应用（例如无人驾驶），还需要做优化和定制。

# 国内机器人操作系统概述

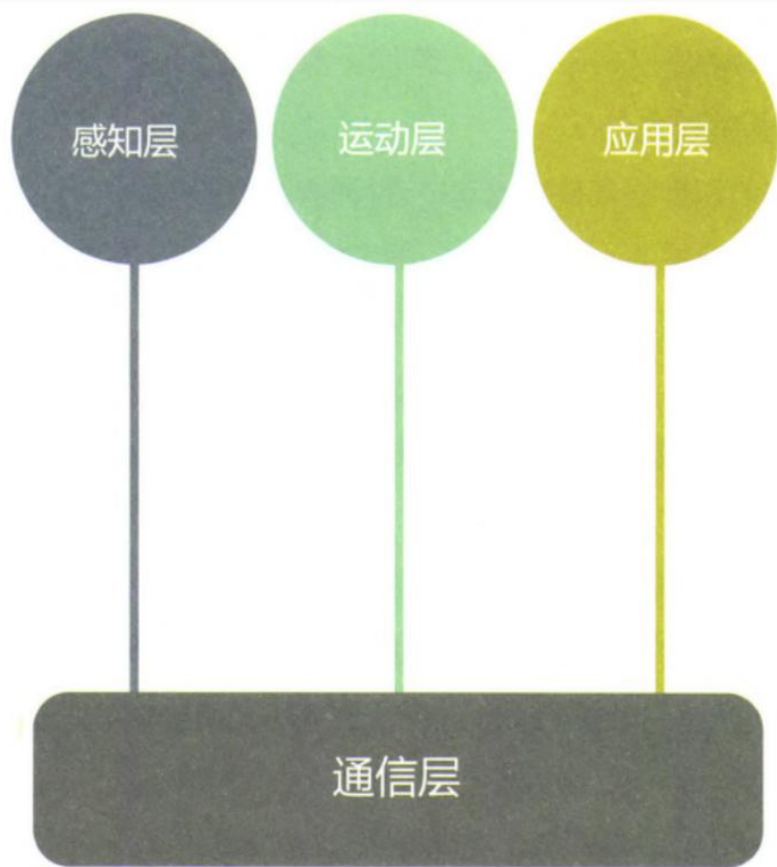
---

- 2015年11月，图灵机器人发布了人工智能机器人专属操作系统TuringOS；
- 2015年11月，智能机器人云操作系统iBotOS首发 小i机器人为硬件配云端大脑；
- 2018年9月27日，优必选正式发布了便携式机器人悟空和全球首个实现大批量商用的服务机器人操作系统ROSA。
- 2018年？一维弦，EWayOS

国产机器人操作系统大部分为企业研发，并且为企业工程提供服务。与ROS 开源化、社区化的趋势不同，其更多呈现出**离散式分布**的特点；大部分操作系统**针对性较强**，主要就是面向于自己企业的一些机器人产品，没有如同 ROS 一样的能够支持多种机器人的适配性；对于实际上遇到的工程任务进行的方案设计更加周密，因此其对于**工程化设计贴合性较好**。

# EwayOS

一维弦科技



EwayOS的框架设计

EwayOS的框架设计参考了人脑的功能模型，将机器人程序模块分为以下三个部分

**感知层**：负责承载各类感知算法

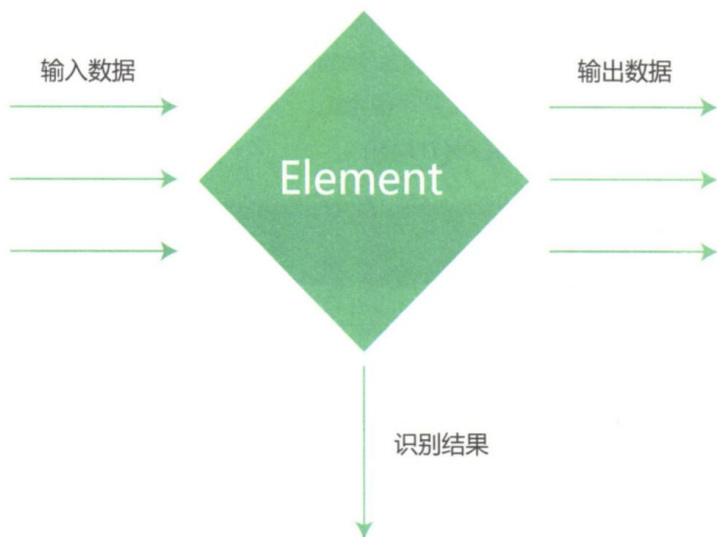
**运动层**：负责各类运动控制算法以及硬件协议适配

**应用层**：负责实现机器人的主观意识

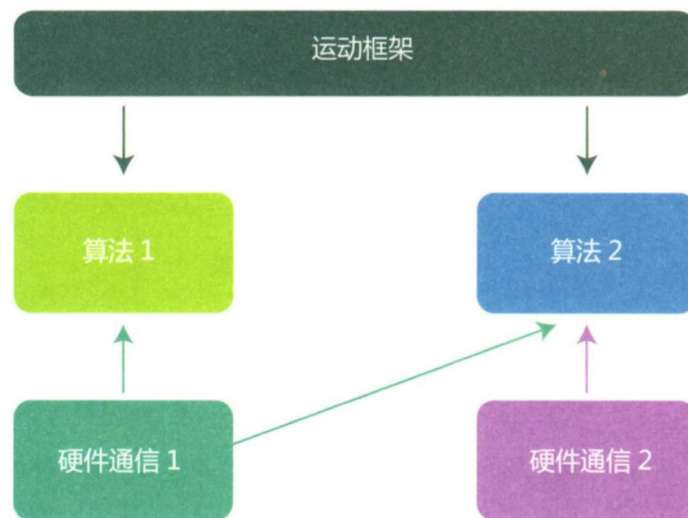
**通信层**：负责在各层模块间传输数据实现模块间模块间通信的。

# EwayOS

一维弦科技



感知层设计



运动控制层设计

# iBot OS

## --小i机器人



平台架构

iBot OS 具备全面的跨平台性和强大的硬件适配能力，兼容 x86 和 Arm 等主流硬件平台，能够桥接 ROS、Linux、Windows 和 Android 等各种操作系统。

# iBot OS

## --小i机器人

- 提升**机器人智能化程度**，从“冷冰冰”的硬件到“蕴含人类智慧”的智能机器人；
- 实现**多种技术模块的进一步整合**，即整合了自然语言理解、语音识别、语音合成、人脸识别和跟踪、物体识别、体感交互、室内定位和导航视觉等多种智能人机交互能力；
- 以人工智能为核心，**实现万物互联**，使之具备来自云端的思考和智能交互的能力。

应用领域：

扫地机器人、电视行业、  
VR眼睛、车载、智能中控、  
智能眼镜、商用机器人



智能交互应用界面



# ROSA

--优必选机器人



模块化

可扩展

松耦合

全集成

ROSA系统架构示意图



# ROSA

## --优必选机器人

优必选的产品主要分为两大类，一类面向ToB市场，包括智能云平台商用服务机器人Cruze（克鲁泽）、智能巡检机器人ATRIS、双足机器人Walker等；另一类面向ToC市场，如消费级人形机器人Alpha系列等。

ROSA在不同产品上的支持情况				
Service组件包	 Alpha系列机器人	 Cruze（克鲁泽）机器人		
Speech	支持	支持		
Motion	支持	支持		
Message Comm	支持	支持		
Emotion	支持	支持		
Navigation	/	支持		
Diagnose	/	支持		
Sensor	支持	支持		
Power	支持	支持		
Light	支持	支持		
Upgrade	支持	支持		
Analytics	支持	支持		
User Manager	支持	支持		

ROSA系统在不同产品上的应用情况



Turing OS

# Turing OS

--图灵机器人

## 功能特点

- 高度接近人类的多模态交互能力
- 类人的思维、情感和学习能力
- 稳健的支持部分机器人



Turing OS 支持多种机器人形态



Turing OS

# Turing OS

## --图灵机器人

应用情况：

Turing OS与奥飞动漫联合打造的乐迪机器人以及与哆啦A梦合作的哆啦A梦机器人已发布会正式亮相。

搭配情感计算引擎、思维强化引擎、自学习引擎三大引擎，利用其智能化可用于儿童机器人、智能故事机、儿童手表等智能设备、虚拟形象机器人等



哆啦A梦机器人