

基于参数驱动机制的服务机器人任务自动组合方法^①

路 飞^② 李 健 田国会 刘志勇 宋沐民

(山东大学控制科学与工程学院 济南 250061)

摘 要 进行了动态环境下服务机器人如何根据环境信息的变化来提供主动、智能式组合服务的研究。在智能空间技术的支持下,利用智能空间中各个智能传感设备所提供的参数信息及环境上下文感知,建立了基于参数驱动的服务机器人任务自动组合框架,构造了实现服务机器人的任务规划流程快速服务组合(FSC)算法,使机器人具备根据场景来自动实现任务组合、分配的能力,提高机器人服务的智能性和服务质量。从系统基本性能、算法的快速性以及突发事件发生时算法的响应速度三个角度对 FSC 算法进行仿真、测试比较,仿真结果验证了该方法的可行性、有效性和可实现性。

关键字 智能空间,环境上下文感知,参数驱动,服务自动组合框架,服务质量

0 引 言

随着计算机、通信技术的发展,服务机器人已逐渐走入家庭、办公室等场所,在助老助残等方面发挥重要作用。受机器人感知环境信息的约束,传统意义下,服务机器人的主要任务是按照人的指令逐个完成各项任务,而没有考虑任务完成的质量以及对环境变化的响应等约束条件。随着机器人技术的发展以及机器人越来越多地应用于家庭等动态环境中,人们对服务机器人的任务提出了更高要求,希望服务机器人能够根据环境的变化来自动完成任务的组合与规划,为人提供主动式服务,并且希望在有异常事件发生时,能够迅速做出反应,为人提供智能、安全、有效的服务^[1],因此服务机器人的组合服务及服务质量问题引起了学者的广泛关注^[2]。Urbietal 等^[3]对目前机器人服务组合研究成果进行了分析比较,指出现有家庭等动态环境下的服务组合方法很难满足上述要求。

近年来,智能空间技术已被广泛应用于服务机器人领域,该技术的应用使服务机器人的研究进入一个新的水平并取得了很多研究成果^[4-7]。在智能空间技术的支持下,借助于机器人与智能空间的信

息交互,机器人服务的智能性和服务质量可得到提高。本研究以山东大学服务机器人实验室为背景,建立了面向服务机器人的智能空间模型^[8],利用智能空间中各个智能传感设备所提供的参数信息及环境上下文感知,建立了基于参数驱动的服务机器人任务自动组合框架,构造了快速服务组合(fast service composition, FSC)算法,实现了服务机器人的任务规划流程,并设计了代价最小公式^[9]来实现最优服务集的选取,使机器人具备根据场景来自动实现任务组合、分配的能力,提高机器人服务的智能性和服务质量。实验室仿真已验证了该方法的可行性和有效性。

1 智能空间模型描述

1996 年日本东京大学的 Hashimoto 实验室提出了“智能空间”的概念^[10]:适当布置了感应装置如 CCD 摄像机、麦克风、显示器等设备的某一空间。感应装置通过有线或无线网络连接到一起,使机器人能实时感知空间中发生的事件并做出相应的处理决策。智能空间的概念可涵盖办公大楼、办公室、家庭居室、医院、敬老院、车间甚至野外空间等。在智能空间中,整个系统可以分为两部分:可视部分和不

① 国家自然科学基金(61305122,61075092),863 计划(2009AA04Z220),山东省博士后创新基金(201203059)和山东大学自主创新基金(2012TS077,2011JC017)资助项目。

② 女,1973 年生,博士,副教授;研究方向:机器人,人工智能,优化理论;联系人, E-mail:lawyerlf@sdu.edu.cn
(收稿日期:2013-06-14)

可视部分。可视部分主要包括人们能看到的空间中的各种设备资源,它们直接为人们提供可见的服务。不可视部分主要包括对智能空间设备的资源调度以及通过上下文等技术为用户提供优质服务的规划机制^[11]。

1.1 可视部分描述

可视部分中的各种设备及其相关信息如表 1 所示。为了便于算法的编写,表中的名称与属性解释用英文。

表 1 智能空间设备表

设备 ID	设备名	服务数量	电量 (%)	位置(cm,cm)	工作状态
001	Robot1	2	80	(10,10)	Yes
002	DistributeVision	1	100	(20,25)	Yes
003	Kinect	2	87	(110,201)	Yes
004	RFID	1	81	(458,5)	No
005	Zigbee	1	70	(440,102)	Yes
006	Phone	1	50	(85,65)	Yes

在设备表中,每一个设备都有它的 ID 号、设备名、它所拥有的服务数量、电量、位置以及工作状态,其中工作状态可以用来判断该设备是否在智能空间中,ID 号和设备名可用来找到相应的设备,电量和位置信息选择则为选择最佳设备提供依据。

1.2 不可视部分描述

智能空间中的不可视部分可以分为如下两部分:设备层的规划调度和服务层的任务组成。其中设备层的规划调度部分主要涉及设备与服务器、设备与设备之间的通信问题和对资源调度算法的设计等;服务层的任务组成部分主要是指服务流程的组成以及服务质量的提高等^[12]。

空间中设备与设备、设备与服务器之间的通信如图 1 所示。

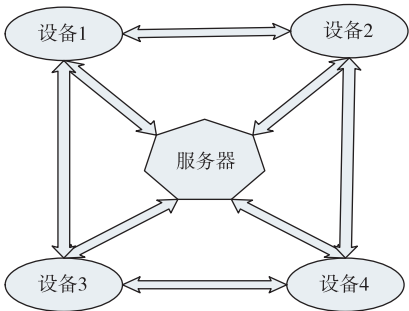


图 1 设备通信规划结构图

本文采用通用即插即用(UPNP)协议实现各种设备与服务器以及设备之间的通讯,其工作方式如图 2 所示。首先服务器端跟设备都先取得 IP,然后服务器端寻找整个网络上的 UPNP 设备,与此同时设备在 UPNP 中宣告它本身的存在。接着服务器端取得设备的描述(其中包含设备提供什么样的服务)、服务器端发出动作信息(对设备操作的命令信息)给设备。最后服务器端监听设备的状态,当状态改变时做出相应的处理动作。在这一过程中通讯双方均采用 XML 文件解析模式获得数据,通过 UPNP 的 API 类库中的 UpnpDownloadUrlItem() 函数来获得设备描述 XML 数据,然后通过 ixmlParseBufferEx() 函数解析 XML 文档并最终获得数据,文献[13]中对关于 XML 中设备与服务信息的存放与编写格式进行了详细的论述。

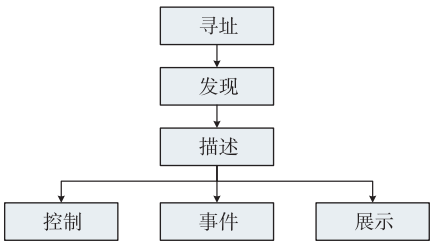


图 2 UPNP 实现的工作流程

在服务层的任务组成方面,将所有设备能够提供的服务组合成一个服务集,与上文中设备表相类似,建立空间中各个设备所提供的服务集表格^[14],如表 2 所示。表 2 中参数的含义见表 3。

表 2 中,第一列为所提供的服务名称,其中 RobotMove 代表机器人移动服务;第二列为能够启动这一服务的参数,如(E,F,G);第三列为当这项服务执行完成以后的输出参数,如(I,J,K);第四列为该项服务的当前工作状态,包括 yes、no、work 三种,yes 表示该服务可用,no 表示该服务不存在,work 表示当前该项服务被占用,系统将会根据某项服务当前状态来决定是否使用该项服务;第五列是该服务所隶属的设备,通过此项可以查找设备表对应的设备,并对其操作实现对可视部分资源的启动;最后一项是本次服务的代价值 COST(消耗),它是在资源设备端通过距离、电量消耗等因素进行综合评估后得出的参考值,为系统选择最优的服务流程提供评价准则。

表 2 空间中各个设备的服务列表

服务名	输入参数	输出参数	状态	提供的设备	消耗(wh)
RobotMove	(E, F, G)	(I, J, K)	Yes	Robot1	85
RobotCamera	(I, J)	(L)	Yes	Robot1	65
BodyLocalization	(A)	(E)	Yes	DistributeVision	18
PoseDetection	(B)	(F)	Yes	Kinect	46
SoundAnalysis	(C)	(G)	Yes	Kinect	15
RFIDReader	(D)	(E, H)	Yes	RFID	32
AlarmControler	(K, L)	(M)	Yes	Zigbee	50
NoticeFamily	(M)	()	Yes	Phone	5

2 基于参数驱动的服务机器人动态服务流程规划

借助与智能空间中各种感知设备所提供的参数信息以及对环境上下文的感知,建立基于参数驱动的服务机器人动态服务流程规划。该规划主要包括三部分:服务的驱动;服务列表的生成;最优服务流程的选择。服务的驱动主要研究如何通过参数的形式把服务驱动;服务列表的生成部分主要设计服务搜索算法和服务参数优化算法,进而形成服务流程;最优服务流程^[15]选择部分主要研究如何根据评价准则来实现最优服务流程的选择。

2.1 服务的驱动

由表 2 可知,各种设备所能提供的各项服务都是通过该项服务的输入参数来驱动,如 RobotMove 服务由参数(E, F, G)所驱动。空间中所有的输入参数以及该参数所代表的含义如表 3 所示。

在参数表中,每一个参数都有它所代表的含义。当系统检测人在智能空间中走动时,则根据参数表生成参数 A,而后根据服务表,参数 A 将驱动 BodyLocalization 这项服务;当服务 BodyLocalization 执行完成之后则会产生参数 E(人在智能空间中的精确位置坐标),驱动服务的示意图如图 3 所示。

该服务可通过一个函数表示,即 $E = f_{BL}(A)$,其中 E, A 分别为参数, f_{BL} 代表 BodyLocalization 服务的函数。又如服务 RobotMove,它的映射就可以表示为 $(I, J, K) = f_{RM}(E, F, G)$ 。通过这种方式,就可以把服务列表中的所有服务都映射成相应的函数,它的工作原理为:如果有参数完全符合该服务函数的输入,则系统会调用该服务,并在该函数执行完之后返回新的参数作为输出。函数格式可表示为

表 3 参数描述

参数	描 述
A	人在空间里移动
B	人做某姿态
C	人发出声音
D	空间中 RFIP 设备获得的数据
E	人在空间中的精确位置
F	人在空间中的精确姿态
G	声音分析结果
H	人体的外形轮廓
I	机器人的位置和速度
J	机器人的角度和方向
K	通知急救中心
L	人在空间中的图像
M	报警器工作

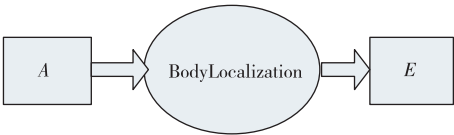


图 3 服务驱动示意图

$$P_{out} = f(P_{in}, S_i) \tag{1}$$

其中 P_{in} 为输入参数集, P_{out} 为输出参数集, S_i 为服务集中的相应服务。文中把每个服务映射为函数,是为服务列表的生成做准备。系统会根据输入参数集的参数为服务列表搜寻相应的服务。

2.2 服务列表的生成

由上节可知,每一个服务都要通过相应的输入进行驱动,同样每一个服务都可以产生相应的输出来驱动其他的服务。只要参数符合某个服务的驱动

条件,它就可以驱动该项服务的执行。为说明服务列表的生成过程,以智能空间中突然有老人摔倒为例进行说明。考虑如下场景:老人在智能空间中走动时突然摔倒,并发出求救呼叫。

首先对场景进行分析:人在智能空间中走动将会产生参数 A,人突然摔倒表明有明显的姿态变化从而产生参数 B,发出求救呼叫表示有声音则产生参数 C,同样无线射频 RFID 也会对人进行观察记录产生参数 D。这样系统就得到了最初的输入参数集 $P = (A, B, C, D)$,通过上边的服务映射,根据 P 就可以驱动相应的服务,如图 4 所示。

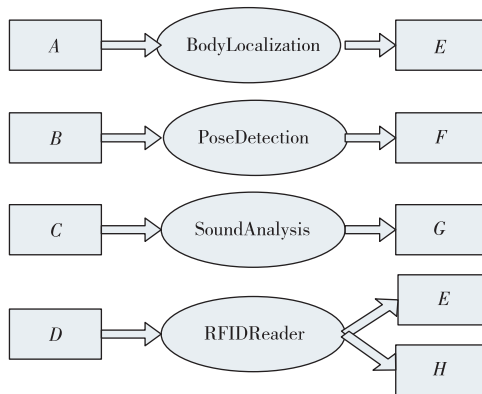


图 4 第一层服务驱动示意图

在服务搜寻过程中为尽可能保证服务数量的完整性,本文提出了服务搜寻算法,算法框图见图 5。

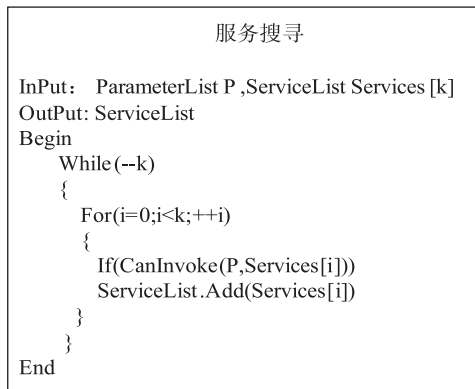


图 5 服务搜寻算法框图

通过计算得到服务列表的第一层,首先将所有数据进行保存,然后对所有的服务进行分析,查看所有服务的输出是不是被另一个所包含。例如通过分析,服务 BodyLocalization 的输出包含在服务 RFIDReader 的输出中,因此为降低消耗,在第一层服务列表中将服务 BodyLocalization 删除,并保存在备用服务列表中,A 参数由于生成无效服务,在参数

集中也将被删除并保存在备用参数集中。同样由于 B,C,D 已经驱动过服务,他们在下一层中的有效程度已经降低,将他们从参数集中删除并保存于备用参数集中。最终得到新参数集 $P = (E, F, G, H)$ 。对无效参数和无效服务的删除和保存可通过以下算法实现,算法框图见图 6。



图 6 参数集、服务集更新算法框架

通过上述算法流程,第一层的服务集被修改为如图 7 所示的三个服务组合。

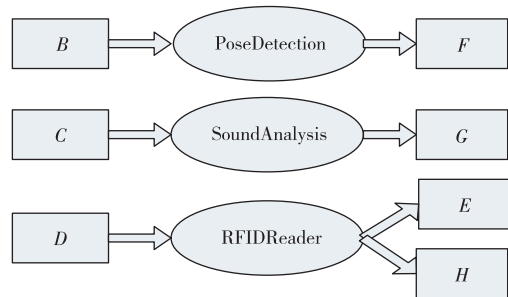


图 7 修改后的第一层服务集图

当有多个参数同时驱动一个服务的情况时,以第二层为例,新的参数集 P 有 (E, F, G, H) ,系统通过搜索服务列表中所有服务的输入,可查找出参数集 P 能驱动的服务个数。经过 FindService 搜索过程,发现只有服务 RobotMove 被驱动了,驱动结果如图 8 所示。

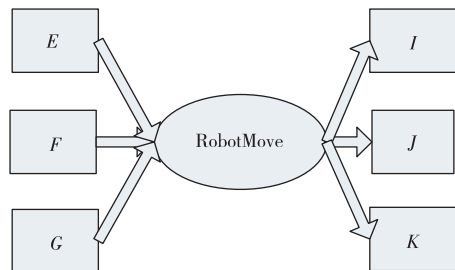


图 8 RobotMove 驱动示意图

同样,由于 E 、 F 、 G 在驱动 RobotMove 过程中已经被使用过,在参数集 P 中将它们删除并保存在备用参数集中。然后现在参数集中的参数 H 由于在本层没有使用,所以它的有效程度降低暂时先保存在参数集 P 中有可能为下一层提供驱动服务。这样得到新的参数集 P 为 (H, I, J, K) 。经过同样的服

务驱动方式便可得到以下的服务列表,如图 9 所示。

如此便形成了整体的服务流程,其中参数 H 由于没有驱动过服务也没有生成无效服务,在服务流程过程中一直存在于参数集 P 中,随着规划层数的增加 H 的有效性逐渐降低直至失效。

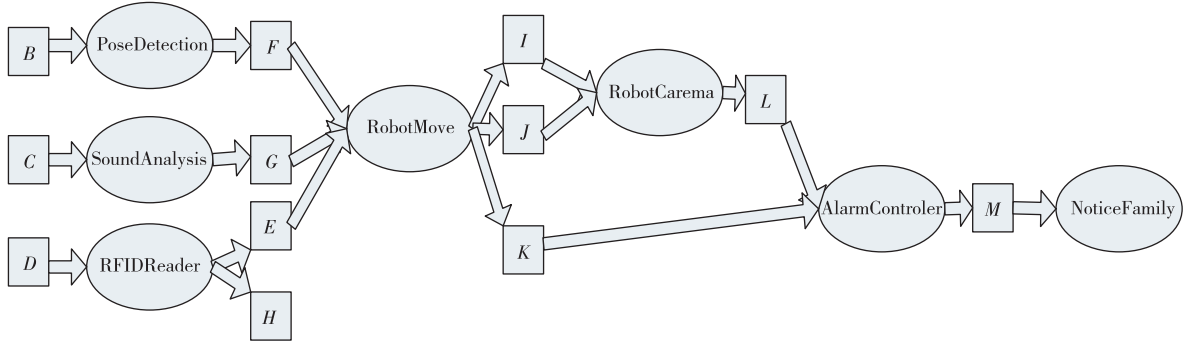


图 9 服务流程图

2.3 最优服务流程的选择

在服务流程形成的过程中,可能出现能够规划出多条服务流程的情况,因此就需要利用每个服务的 COST 属性来择优选择服务流程。

假设系统在进行服务流程规划的过程中,得到了两条服务流程,且最终都能达到相同的目的。服务流程如图 10 所示。

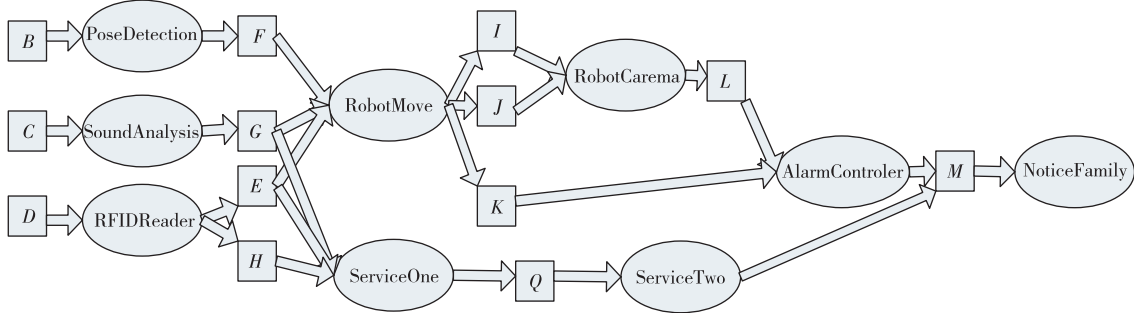


图 10 多服务流程图

由图 10 可见,有两条符合要求的服务流程,且两条服务流程都能完成同一个任务。此时可根据以下公式选择最优的(即代价最小的)服务流程:

$$ServiceList = \min \sum_{List[1]}^{List[n]} COST[j] \quad (2)$$

其中 $ServiceList$ 代表最终服务流程, $COST[j]$ 指服务消耗,式中是将每一个服务流程中的所有服务消耗相加,最后找出消耗最少的流程,得到最优服务流程。

2.4 基于参数驱动的服务机器人动态服务流程规划算法

为了保证生成服务列表的可靠性和灵活性,本

文根据上文服务组合过程提出以下 7 个步骤完成流程规划:

步骤 1:准备参数集、服务集、备用服务集和备用参数集,以及最终服务列表 5 个存储单元。

步骤 2:循环检测参数集是否有参数输入,如果有参数输入转到步骤 3,否则在步骤 2 等待并循环检测。

步骤 3:根据参数集的输入参数,对服务集进行搜索,找到能够被驱动的服务,并存入第一层,如果为紧急事件则迅速执行,与层数相关的指数 INDEX 加 1,转到步骤 4。

步骤 4:对刚得到的这一层服务进行查重,如果

一个服务的输出包含在另一个的输出中,将此服务从最终服务列表中删除,置于备用服务集中。对于驱动此无效服务的参数也从参数集中删除置于备用参数集中。对刚使用过的所有参数为防止重复驱动,也将删除并置于备用参数集中。

步骤 5:检测这一层服务是否有输出,如果有则转到步骤 2,如果没有转到步骤 6。

步骤 6:计算每个服务流程的总消耗,择优选择最终流程。

步骤 7:规划流程结束。

3 仿真结果与实际场景验证

3.1 仿真结果

根据上文所述的服务流程规划算法(FSC 算法),本研究在仿真系统基本性能、FSC 算法的快速性以及 FSC 算法在突发事件发生时的响应快速性三个方面进行仿真,仿真结果验证了本文算法的正确性与快速性。最后通过在山东大学服务机器人智能空间实验室的实际场景测试验证了该研究方法的可实现性。

3.1.1 仿真系统的基本性能测试

FSC 算法的基本性能测试平台是在 Microsoft Visual Studio 2008 下搭建的,仿真系统的硬件环境为: Intel (R) Core (TM) 2 Quad CPU Q9400, RAM 4.00GB, 操作系统为 Windows 7, 测试环境为 MFC。完成一次小规模仿真任务的时间不足 1ms。仿真结果如图 11 和图 12 所示。

第1层服务
第1层服务中第1个服务是: RFIDReader
第1层服务中第2个服务是: SoundAnalysis
第1层服务中第3个服务是: PoseDetection

图 11 第一层服务组成结果

第1层服务
第1层服务中第1个服务是: RFIDReader
第1层服务中第2个服务是: SoundAnalysis
第1层服务中第3个服务是: PoseDetection
第2层服务
第2层服务中第1个服务是: RobotMove
第3层服务
第3层服务中第1个服务是: RobotCarema
第4层服务
第4层服务中第1个服务是: AlarmControler
第5层服务
第5层服务中第1个服务是: NoticeFamily

图 12 服务流程规划结果

通过上述结果可知,仿真系统已成功搭建并在单层任务规划和流程规划中实现预期规划效果,能够完成一层甚至多层的任务规划。在服务规划层数和总服务数量较少时,系统会很快速地完成规划任务。

3.1.2 FSC 算法的快速性验证

本研究通过对比层次任务网(HTN)规划方法与本文提出的 FSC 算法,在不同的服务数量下,验证各自的服务组合时间。两种方法所用规划时间如图 13 所示。

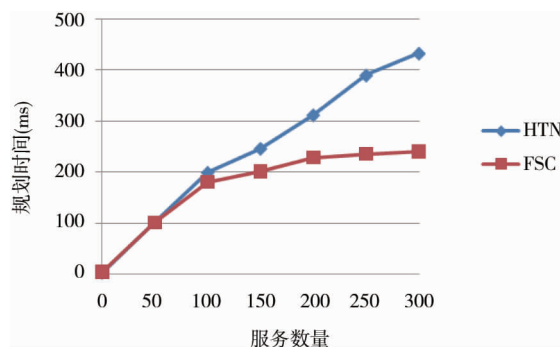


图 13 服务规划时间比较

通过图 13 可知,在服务数量低于 50 时,HTN 算法与 FSC 算法的规划时间基本相同,当服务数量进一步增大,FSC 算法所用的规划时间明显比 HTN 算法少。由此可见 FSC 算法在处理大规模数量的服务规划时,具有显著的快速性。

3.1.3 突发事件时响应速度验证

在验证对于突发事件的响应速度时,本文同样采用 HTN 算法与 FSC 算法对比的方式。验证响应的时间是在突发事件发生信号到达规划服务器时开始计时,两种方法所用时间如图 14 所示。

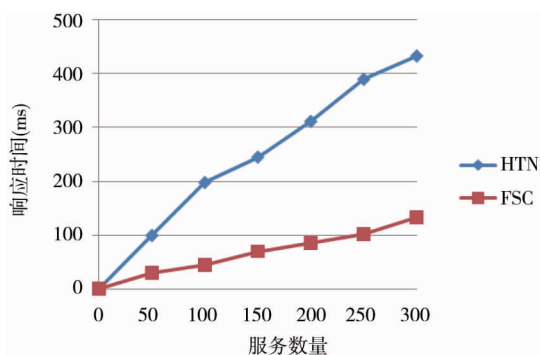


图 14 响应时间比较

通过图 14 可知,HTN 算法在紧急事件发生时处理速度与一般时间基本相同,而 FSC 算法由于在规划第一层任务的时候就可以确定为此事件为紧急事件,并能迅速做出响应。故 FSC 算法在突发事件发生时响应速度明显比 HTN 算法快,此研究验证了 FSC 算法响应突发事件的快速性。

通过上述仿真结果可以看出,本文所提出的服务流程规划算法能够根据要求,正确地规划出符合条件的最优的服务列表,并且系统根据此算法进行服务规划时,所用时间很短,表明了该算法的快速性,完全可以满足系统对自主性、异常突发事件迅速

响应的要求,具有较好的应用价值。

3.2 实际场景验证

测试所用实际场景为山东大学服务机器人智能空间实验室,该实验室具备分布式视觉,ZigBee 无线网络,基于惯导模块的摔倒检测系统,基于 Kinect 的人体姿态检测系统,各种类型先进机器人和智能终端,还有自主研发的具有精确定位的服务机器人等。测试过程为:在实际场景中让实验者穿着实验室自主研发的智能马甲(具有摔倒检测功能)摔倒,测试该算法智能空间下生成的服务流程情况和执行速度情况。实验室实际效果如图 15 所示。

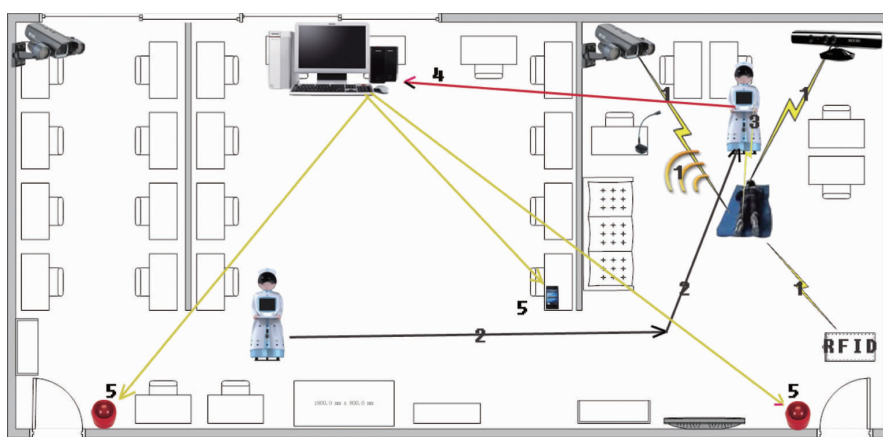


图 15 实际测试场景图

实际场景中的测试结果如下:当多种检测设备检测到有人摔倒,服务器中算法模块启动,开始服务流程规划,完成规划后,服务机器人通过线路 2 移动到摔倒位置,并通过摄像头等相关设备把相关信息上传到服务器,服务器根据信息通过警报器或手机通知家人和相关救护人员。该项测试在实际场景中进行测试,利用已成熟的相关技术和智能设备模拟,体现了该算法的可实现性和执行的快速性。

4 结 论

本文主要研究了动态环境下服务机器人的任务组合规划问题。借助于智能空间技术的支持,利用智能空间中各种传感器设备所提供的环境参数以及环境上下文感知信息,建立了基于参数驱动的服务机器人任务自动组合框架,在此基础上构造了 FSC 算法实现服务机器人的任务规划流程,使机器人具备根据场景来自动实现任务组合、分配的能力,进而提高机器人服务的智能性和服务质量。但本文目前

的研究只是针对某一个人的服务要求展开的,具有一定的局限性。下一步将在本文的研究基础上开展针对多种用户需求时的决策机制以及服务流程构建方法,从而进一步提高服务机器人服务规划的智能化水平。

参考文献

- [1] Carrozzo G, Ciulli N, Donadio P, et al. The path computation element for the network service and business plane computation of route offers and price modeling for inter carrier services. In: Proceedings of the 17th European Conference on Networks and Optical Communications, Vilanova i la Geltru, 2012. 1-6
- [2] Yachir A, Tari K, Chibani A, et al. QoS based framework for ubiquitous robotic services composition. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, St. Louis, USA, 2009. 2019-2025
- [3] Urbietta A, Barrutieta G, Parra J, et al. A survey of dynamic service composition approaches for ambient systems. In: Proceedings of the Ambi-Sys Workshop on Software

- Organisation and Monitoring of Ambient Systems, Canada, 2008. 1-8
- [4] Nahrstedt K, Xu D Y, Wichadakul D D, et al. QoS-aware middleware for ubiquitous and heterogeneous environments. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39 (11) : 140-148
- [5] Xue Y H, Tian G H, Song B Y, et al. Distributed environment representation and object localization system in intelligent space. *Journal of Control Theory and Applications*, 2012, 10 (3) : 371-379
- [6] 吴皓, 田国会, 王家超等. 室内非结构化环境三维栅格语义地图的构建. 模式识别与人工智能, 2012, 25 (4) : 564-572
- [7] Lu F, Tian G H, Zhou F Y, et al. Building an intelligent home environment for service robot based on multi-pattern information model and wireless sensor networks. *Journal of Intelligent Control and Automation*, 2012, 3 (1) : 90-97
- [8] Chen C, Helal S, de Deugd S, et al. Toward a collaboration model for smart spaces. In: Proceedings of Third International Workshop on Software Engineering for Sensor Network Applications, Zurich, Switzerland, 2012. 37-42
- [9] Seog-Chan Oh, Dongwon Lee, Soundar R. T. Kumara. Effective web service composition in diverse and large-scale service networks. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2008, 1 (1) : 15-32
- [10] Joo-Ho Lee, Hideki Hashimoto. Intelligent space. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Takamatsu, Japan, 2000. 1358-1363
- [11] Wu D, Sirin E, Hendler J, et al. Automatic web services composition using shop2. In: Proceedings of Workshop on Planning for Web Services, ICAPS, 2003
- [12] Doshi P, Goodwin R, Akkiraju R, et al. Dynamic workflow composition using Markov decision processes. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services. San Diego, USA, 2004. 576-582
- [13] 谭珏, 何哲, 陈援非等. IGRS 与 UPnP 设备互连的安全机制研究. 计算机应用研究, 2010, 27 (7) : 2411-2413
- [14] Harjo P, Taipalus T, Knuuttila J, et al. Needs and solutions-home automation and service robots for the elderly and disabled. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Edmonton, Canada, 2005. 2721-2726
- [15] Yachir A, Tari K, Chibani A, et al. Towards an automatic approach for ubiquitous robotic services composition. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nice, France, 2008. 3717-37

An automatic approach for service composition of service robots based on parameter-driven mechanism

Lu Fei, Li Jian, Tian Guohui, Liu Zhiyong, Song Mumin

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan, 250061)

Abstract

The problem that how service robots in dynamic environments can provide autonomous and intelligent composition services according to the variation of acquired environmental information was studied. Under the support of an intelligent space, a parameter-driven framework of automatic service composition for service robots was built by using the parameter information provided by the intelligent sensors and the context-awareness to environment. A fast service composition (FSC) algorithm was designed to realize the robots' task planning, so the ability to dynamically compose and deliver services under this framework was given to the service robots, and the service intelligence and service quality were improved correspondingly. The simulation and test to the FSC algorithm were done in terms of the system's basic performance, the algorithm's running speed and responding speed to emergency, and the simulation result showed the reliability and effectiveness of this algorithm.

Key words: intelligent space, context-awareness to environment, parameter-driven, framework of automatic service composition, service quality