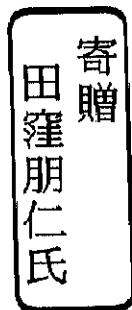


DA
3159
2002
(HG)

非ホロノミック拘束を利用する
物体の人間・ロボット協調搬送
に関する研究

工学研究科
筑波大学

2003年3月
田窪 朋仁



03006646

目 次

第 1 章 緒論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 従来の研究	3
1.3 研究の目的	6
1.4 本論文の構成	7
第 2 章 長尺物の水平面内の協調運搬	10
2.1 緒言	10
2.2 仮想非ホロノミック拘束の導入	11
2.3 可制御性の証明	13
2.4 インピーダンス制御による拘束の実現	14
2.4.1 インピーダンス制御における対象物の挙動	15
2.4.2 異方性インピーダンス制御	17
2.4.3 仮想非ホロノミック拘束の実現	18
2.5 仮想非ホロノミック拘束を用いた協調運搬	19
2.6 検証実験	21
2.6.1 実験装置の構成	21
2.6.2 インピーダンス制御器	21
2.6.3 水平面内の協調運搬実験	25
2.7 結言	34
第 3 章 3 次元空間内の協調運搬	36
3.1 緒言	36
3.2 鉛直平面内の協調運搬	37
3.2.1 鉛直平面内の非ホロノミック拘束	37
3.2.2 協調運搬における重量の補助	38
3.2.3 鉛直平面内の協調運搬実験	41
3.2.4 鉛直平面内の実験の考察	43
3.3 3 次元空間内の協調運搬	45
3.3.1 3 次元空間内の非ホロノミック拘束	45
3.3.2 3 次元空間内の可制御性の証明	48
3.3.3 手先座標系における異方性インピーダンス	50
3.3.4 3 次元空間内の協調運搬実験	51
3.4 結言	51

第4章 移動マニピュレータを用いた協調運搬	55
4.1 緒言	55
4.2 移動台車への非ホロノミック運搬手法の導入	56
4.3 移動台車主体の協調運搬	59
4.3.1 冗長自由度を利用した移動マニピュレータの制御	60
4.3.2 非ホロノミック移動台車を備えた移動マニピュレータの制御	62
4.3.3 検証実験	63
4.4 マニピュレータ主体の協調運搬	72
4.4.1 並進移動の制御則	73
4.4.2 回転移動の制御則	76
4.4.3 シミュレーション	78
4.4.4 移動マニピュレータによる検証実験	82
4.5 結言	84
第5章 結論	90
謝辞	92
参考文献	93
関連業績一覧	100

図 目 次

1.1	Human-robot cooperative manipulation.	8
1.2	Cooperative manipulation of long object.	9
2.1	Example of cornering.	11
2.2	Example of tool.	12
2.3	Example of transportation.	13
2.4	Virtual nonholonomic constraint.	13
2.5	Impedance control of long object.	15
2.6	Operation by a couple of force.	16
2.7	Constraint to the desired trajectory.	18
2.8	Impedance control for virtual constraint.	20
2.9	Virtual constraint for various cooperation.	22
2.10	Transport to the wall side.	22
2.11	Experimental setup.	23
2.12	Experimental apparatus.	24
2.13	Sideslip with isotropic impedance control.	27
2.14	Sideslip with virtual nonholonomic constraint.	28
2.15	Trajectory of object (isotropic impedance control).	29
2.16	Trajectory of object (virtual nonholonomic constraint).	29
2.17	Trajectory of object without torque control (isotropic impedance control).	31
2.18	Trajectory of object without torque control (virtual nonholonomic constraint).	31
2.19	Target pointer and target marker for experiment.	32
2.20	Initial positions and a target position.	32
2.21	Transportation referring a real target (isotropic impedance control).	33
2.22	Transportation referring a real target (virtual nonholonomic constraint).	33
3.1	Nonholonomic constraint in vertical plane.	38
3.2	Human-robot sharing the load at horizontal posture.	40
3.3	Human-robot sharing the load at inclined posture.	40
3.4	Trajectory of object referring targets in the monitor display(short object).	42
3.5	Trajectory of object referring targets in the monitor display(long object).	42
3.6	Experimental setup for referring a real target.	44
3.7	Trajectory of object referring a real target.	44
3.8	Rotation about hand coordinate frame.	45
3.9	Rotation about <i>P</i> -axis.	47

3.10 Example of the singular posture.	47
3.11 Rotation about Q -axis.	48
3.12 Control forces and robot motion.	48
3.13 Experiment of 3-D transportation.	52
3.14 Experimental result (rotation about Y, Z -axes).	52
3.15 Experimental result (rotation about X, Y, Z -axes).	52
3.16 Rotation angle about X -axis.	53
4.1 Nonholonomic vehicle model with two wheels.	57
4.2 Nonholonomic vehicle model like an automobile.	57
4.3 Holonomic vehicle model.	58
4.4 Manipulator on the holonomic vehicle.	60
4.5 Nonholonomic mobile manipulator with caster action.	63
4.6 Size of mobile manipulator.	64
4.7 Mobile manipulator(photo).	65
4.8 System components.	66
4.9 Experimental setup.	66
4.10 Transportation from the floor onto the desk (photos).	67
4.11 Trajectories and velocities.	67
4.12 Support force and pitch angle.	69
4.13 Target position and initial position.	69
4.14 Transportation to the corner (photos).	70
4.15 Experimental result(trajactories).	71
4.16 Support force, pitch angle and height.	71
4.17 Preferred operating region design.	73
4.18 Dynamic model of mobile manipulator.	74
4.19 Nonlinear spring model.	76
4.20 Rotation problems.	77
4.21 Rotation model.	78
4.22 Workspace about manipulator.	80
4.23 Setup of simulator.	81
4.24 Simulation results.	81
4.25 Trajectories of simulation.	82
4.26 Target position and initial position.	84
4.27 Transportation from the floor onto the desk (photos).	85
4.28 Experimental result (trajectories).	85
4.29 Manipulability and mobile base positions.	86
4.30 Support force and Euler angles.	87
4.31 X -axis force and manipulator tip position in the mobile base coordinate.	88