

应用 FLOW-3D 于膳食辅助机器人的轨迹规划设计（避免食物溢出）

作者: *Yoshifumi Kuriyama, Ken'ichi Yano and Masafumi Hamaguchi*

本文出处:

17th IEEE International Conference on Control Applications

Part of 2008 IEEE Multi-conference on Systems and Control

San Antonio , Texas , USA , September 3-5, 2008

近年来，医疗辅助机器人的开发与设计成为一个重要的课题，本篇研究的重点，在于利用 CFD 计算流体力学配合最佳化设计，研究如何取得机器手臂在移动汤匙的过程中，不会造成流体溢出的运动轨迹。



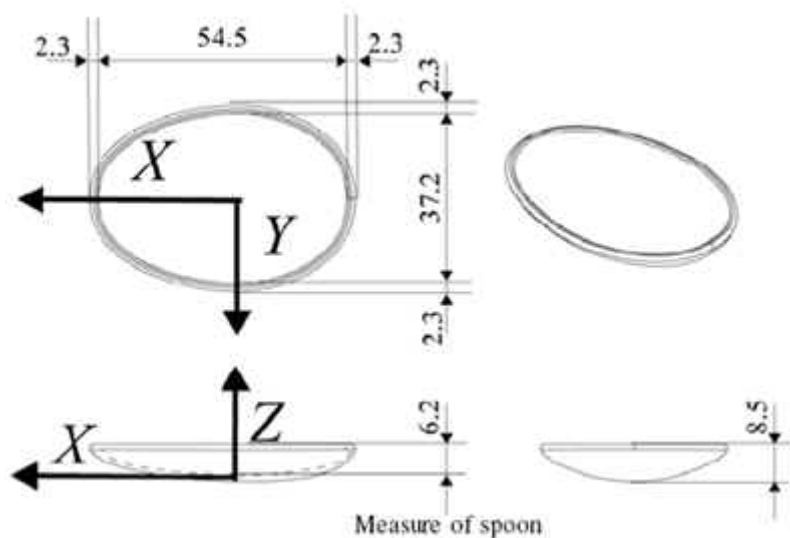
初步设定及模拟比对

机器人本体由六个运动马达组成，每个马达的最大运动角速度如下表。

THE MAXIMUM ANGULAR VELOCITY OF THE MOTORS

	Maximum angular velocity [deg/s]
1st motor	± 200
2nd motor	± 128
3rd motor	± 190
4th motor	± 210
5th motor	± 210
6th motor	± 340

汤匙的规格如下图

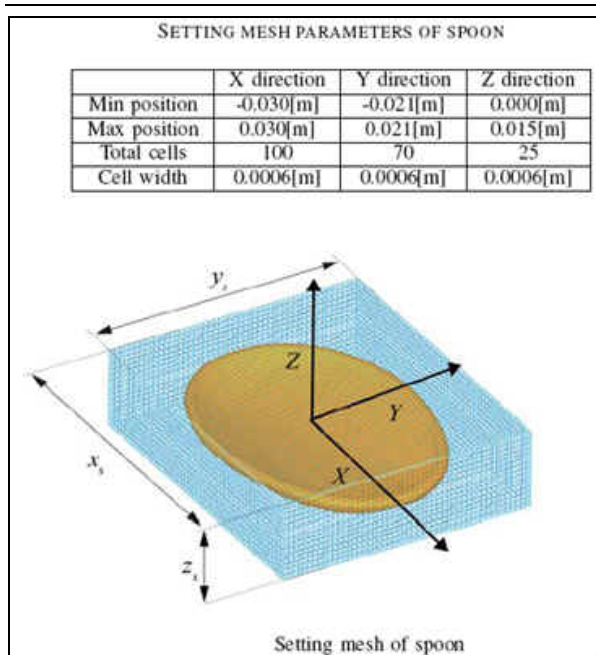


在本研究中搭配使用的 CFD 软件为 *FLOW-3D*，流体的体积为 0.0047×10^{-3} [m³]，流体的物理性质如下表。

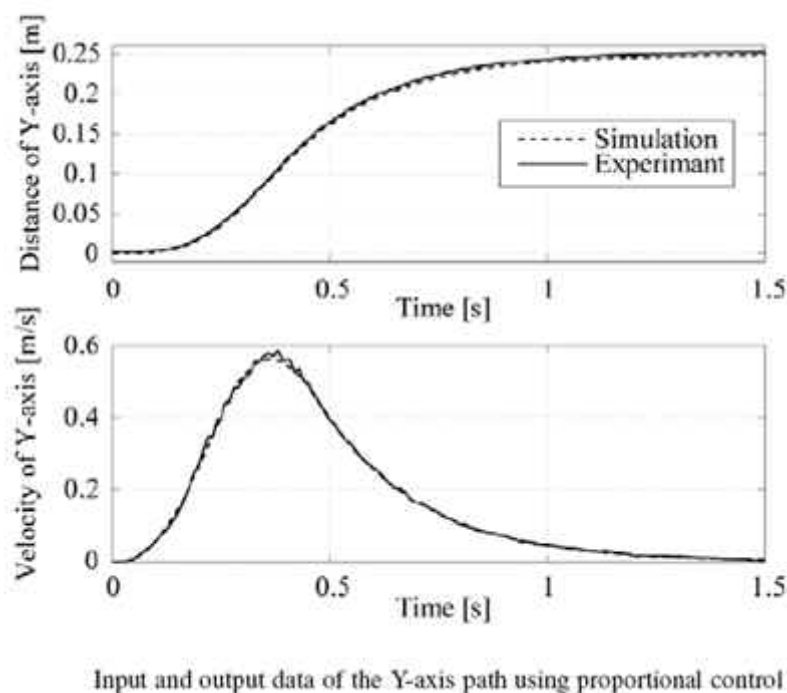
FLUID PARAMETERS OF WATER

Fluid parameters	Water
Density	1000 [kg/m ³]
Viscosity	100×10^{-5} [Pa·s]
Temperature of the Fluid	293.2 [K]
Surface Tension	0.073 [N/m]
Surface Roughness	0.0025 [m]
Contact angle	75.0 [deg]
Gravity	-9.81 [m/s ²]

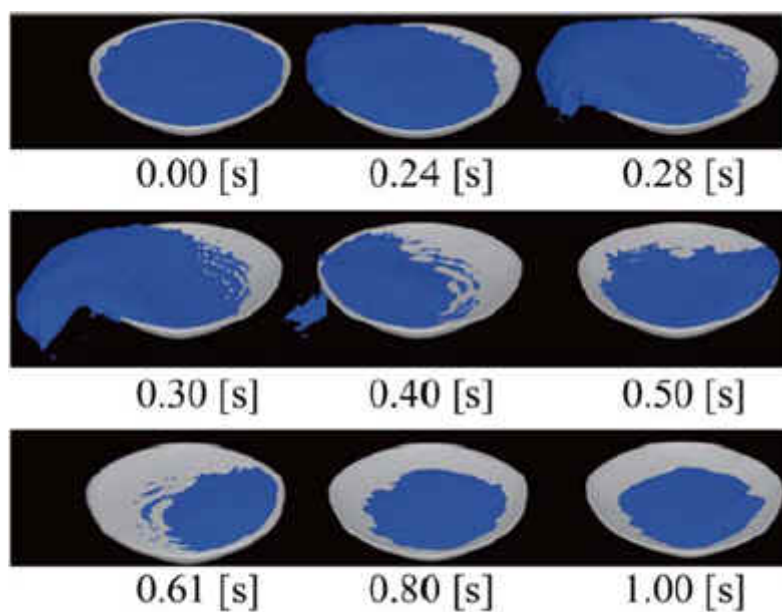
FLOW-3D 的网格尺寸及设定如下所示。



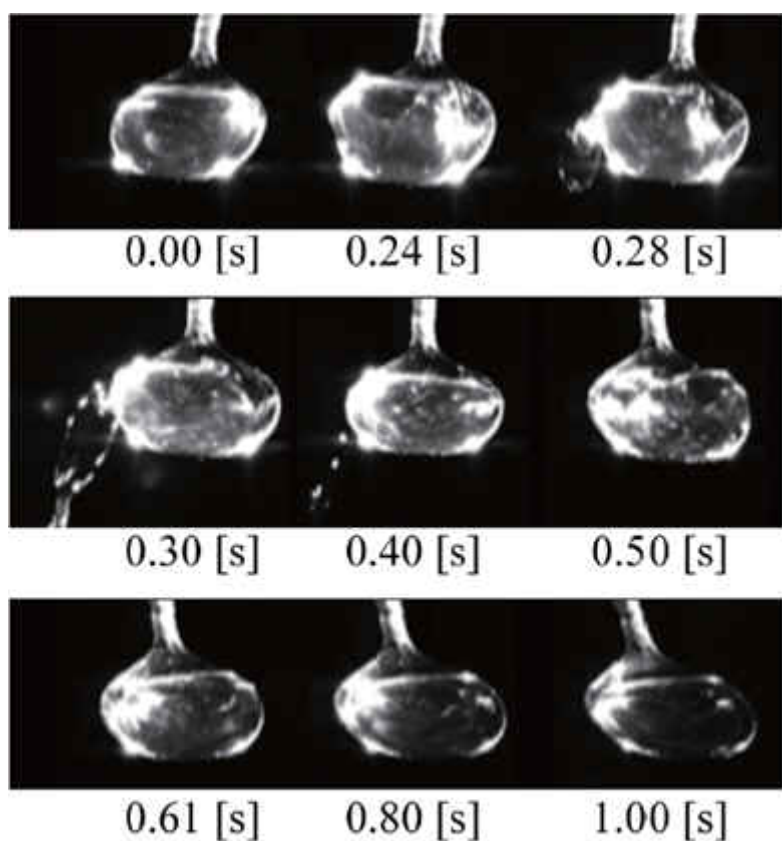
在此研究中，汤匙沿着 Y 轴移动，下图表示其位移量及移动速度。



下图则是以 *FLOW-3D* 进行模拟之分析结果以及实际机器手臂运动时流体的溅出状况。



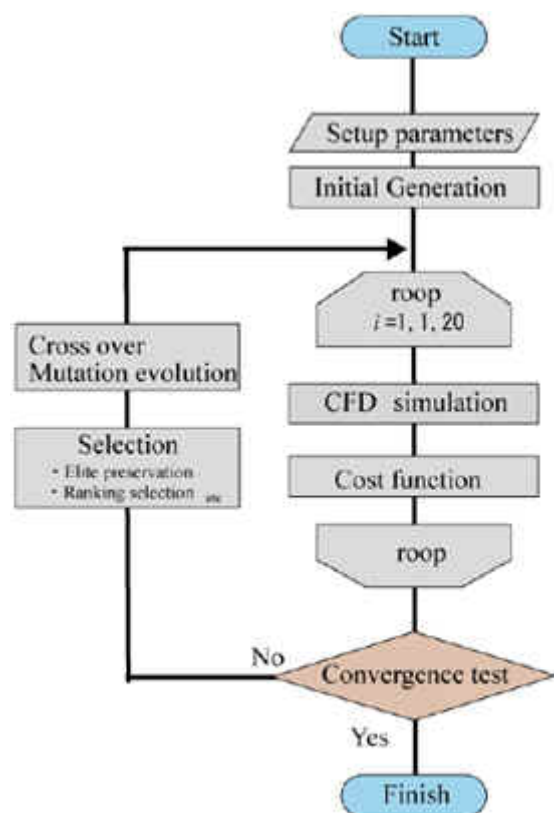
Flow of liquid by simulation results



Flow of liquid by experimental results

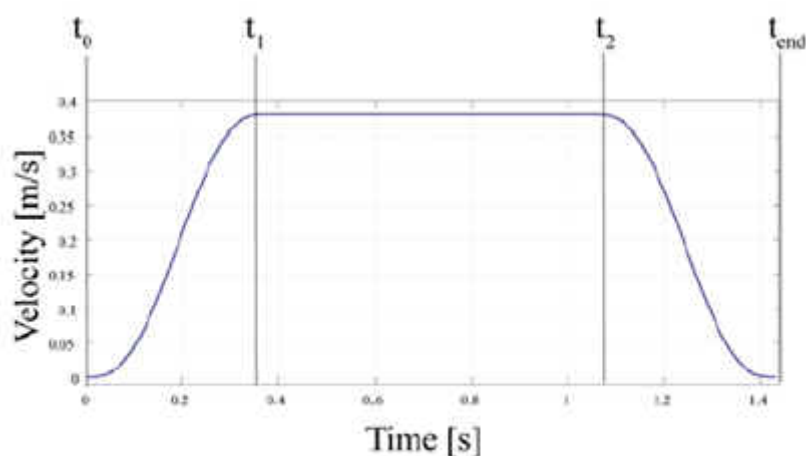
Part A. 最佳化的设定流程

本研究的计算流程可以由下列流程图表示。因此首先必须先定义出相关的参数以及决定初始条件。



Flow chart of new approach

研究中，移动路径是由速度 曲线积分而得，如下图。



Splitting the velocity curve in three points

速度曲线可大致分为三个区块，分别是加速区，等速区，以及减速区。而速度曲线可以用七个常数加以描述，如下之方程式。

$$f(t) = \sum_{i=0}^n a_i t^i$$

$$f'(t) = \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} t^i)(i+1)$$

$$f''(t) = \sum_{i=0}^{n-2} (a_{i+2} t^i)(i^2 + 3i + 2)$$

根据

$$1. t = 0$$

$$f(0)=0.0[\text{m/s}], f'(0)=0.0[\text{m/s}^2], f''(0)=0.0[\text{m/s}^3]$$

$$2. t=t_1$$

$$f(t_1)=V_{target}[\text{m/s}], f'(t_1)=0.0[\text{m/s}^2], f''(t_1)=0.0[\text{m/s}^3]$$

前述之七个设计常数可为

$$a_0 = a_1 = a_2 = 0$$

当 $t=t_1$ 时

$$a_5 = \frac{6V_{target} - 6a_7 t_1^7 - 3a_6 t_1^6}{t_1^5}$$

$$a_4 = \frac{-15V_{target} + 8a_7 t_1^7 + 3a_6 t_1^6}{t_1^4}$$

$$a_3 = \frac{10V_{target} - 3a_7 t_1^7 - a_6 t_1^6}{t_1^3}$$

Part B. 指定最佳化限制

1. 最小移动速度不能够小于零。
2. 每个马达的转动角速度不得大于马达规格。

3. 移动过程中波溅出的水量必须小于零。

$$J_s = T_s + J_p$$

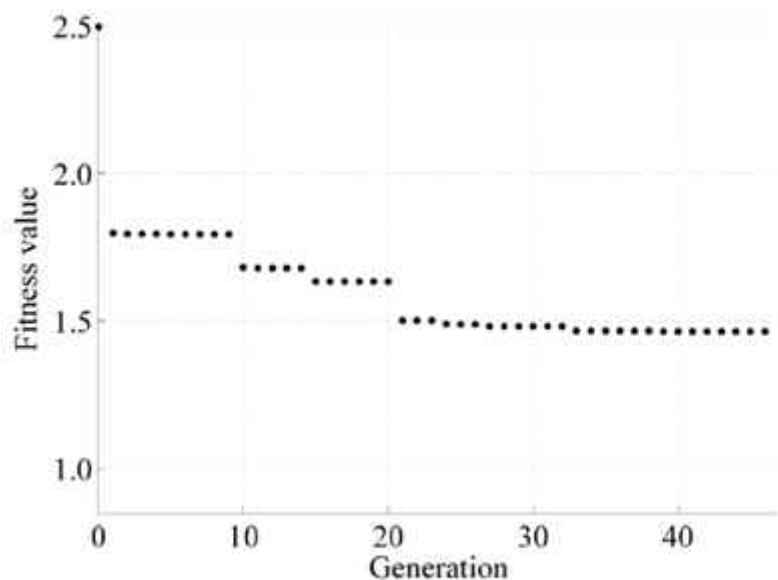
$$T_s = \min \{t \mid |P_f - P(t + \sigma)| < P_e, \sigma \geq 0\}$$

$$J_p = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots$$

将上述评估方程式以程序计算

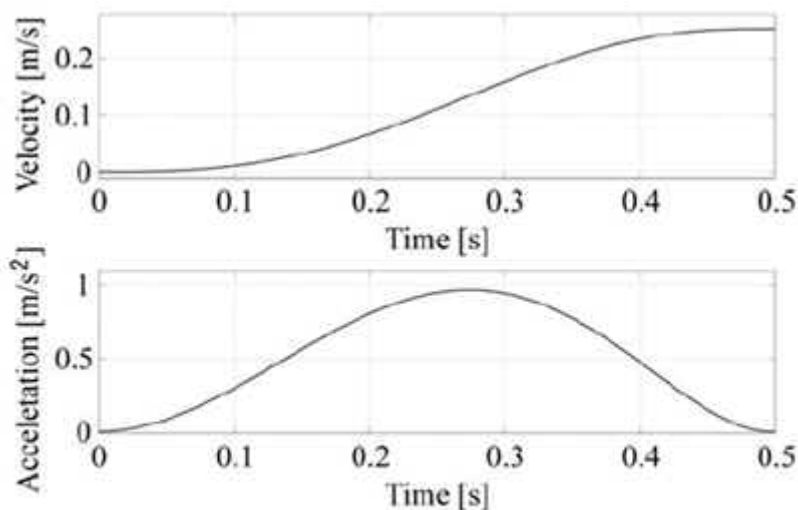
PARAMETERS FOR GENETIC ALGORITHMS

Number of initial population	20
Number of population	20
Number of elite preservation	2
Crossover fraction	80[%]
Mutation evolution	5[%]

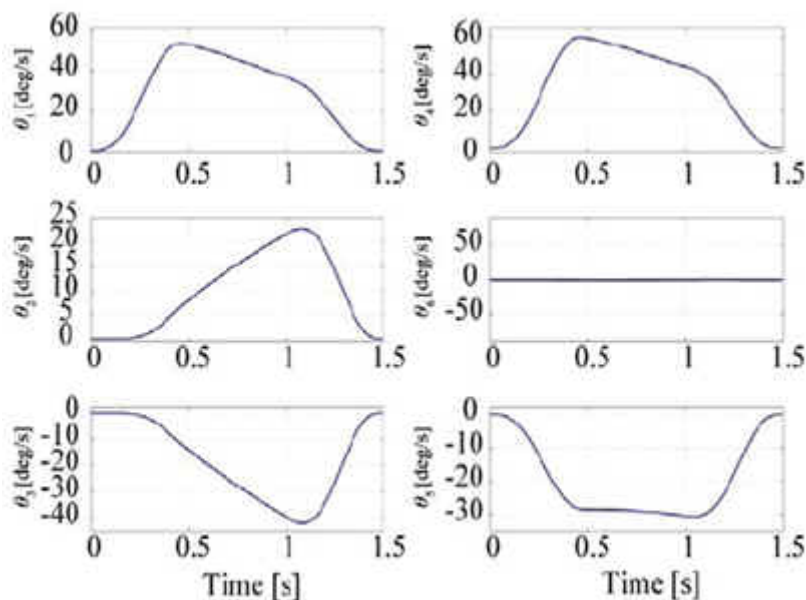


Cost function for test model using velocity 7 dimensional function by new approach

Part C. 计算结果

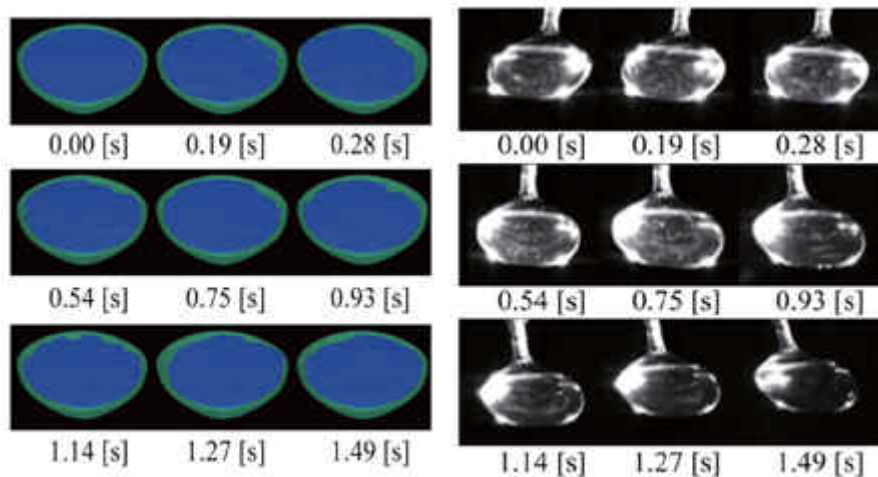


Velocity and acceleration using velocity 7 dimensional function by new approach



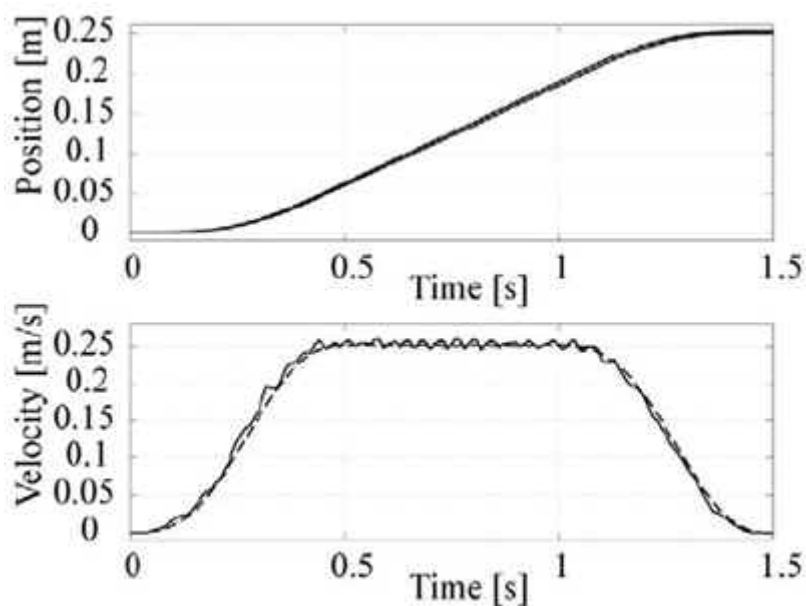
The angular velocity of 6DOF manipulator

Part D. 分析结果与实验比对



Pictures of the behavior of the liquid inside the spoon by using CFD simulation

Pictures of the behavior of the liquid inside the spoon by using 6DOF manipulator



Experimental result of the path