

VISUAL SIMULATION OF DROPLETS
ADHERING TO A SURFACE

面上に付着した液滴の視覚的シミュレーション

by

Nobuyuki Nakata

仲田将之

A Master Thesis

修士論文

Submitted to

the Graduate School of the University of Tokyo

on January 29th, 2013

Department of Complexity Science and Engineering

Graduate School of Frontier Sciences

Thesis Supervisor: Tomoyuki Nishita 西田 友是

Professor of Complexity Science and Engineering

ABSTRACT

Surface tension (interfacial tension) occurs on a common boundary of two different matters. All of solid, liquid and gas materials have surface tensions. Since liquid surface tension is stronger than its of gas and since liquid material is flexible compared to solid material, the surface tension of liquids takes an interesting role in their motions and shapes.

Liquid having either a height or a diameter less than capillary length (the effective length of capillary), its surface tension is dominant over gravity. Because either the height or the size of droplet is less than capillary length, droplet motions and shapes are also under strong influence of surface tensions. In these liquids, droplet is one of the common liquids in our life. The proposed methods take account of the effects of surface tension on droplet motions and on droplet shapes.

In a driver's viewpoint, the visibility through the windshield is seriously affected by the droplets adhesion and their motions on the glass. Driving simulator is commonly used for driver's education. Recently, the hydrophobic coating on the windshield became a solution to keep driver's view clean. The proposed method of real-time droplet animation takes account of the droplet adhesion called contact angle hysteresis due to surface tension. If the proposed method is added on top of the simulator, it will assist to improve the driving safety. This method assumes each relatively large droplet as a mass point and simulates its movement using contact angle hysteresis accounting for dynamic hydrophobicity as well as other external forces such as gravity and air resistance. All of an exponential number of still, tiny droplets are treated together in a normal map applied to the windshield. This method also visualizes the Lotus effect, a cleaning action by the moving droplets.

In the both of the film industry and the construction industry, it is common to construct a realistic scene in computer. Although the realistic scene is highly demanded, measuring a droplet shape is not easy because droplet is a deformable liquid and usually translucent. The proposed method for computing droplet shape can generate droplet shapes from an image of droplets. Because this method is simple yet flexible for computing droplet shapes on the surface of an object, it is a help to construct a more realistic scene in computer. The proposed method can flexibly generate natural-looking droplets on top of artificial outlines, such as logo designs, symbolic icons and character fonts. Animation of the droplets is achieved by applying the method to a series of outlines generated by a 2D controllable fluid simulator. This method also demonstrates the transition of the droplet shape following changes in topology of adhesion region and compare the result to that of a physical experiment.

論文要旨

表面張力(界面張力)は二種類の異なる物質の境界で発生する。固体や液体、気体のすべての物質は表面張力を持つ。液体の表面張力は気体のそれより強く、液体は固体に比べて柔軟なので、液体の表面張力はその運動や形状にとって重要な役割を担う。

高さや直径が毛管長(表面張力の有効半径)より小さな液体では、重力より表面張力が支配的になる。液滴の高さまたは大きさが毛管長より小さいため、その運動と形状も表面張力の影響を強く受ける。そのような液体の中で、液滴は我々の生活において一般的な液体の一つである。提案法の一つでは液滴の運動に対する表面張力の影響を考慮する。もう一方の提案法では液滴の形状に対する影響を考慮する。提案法は、ロータス効果と呼ばれる水滴の運動による自浄作用も可視化する。

ドライバーの視点で見ると、フロントガラス上の水滴の付着とその運動は視認性に大きな影響を与える。近年、フロントガラスに対する撥水加工がドライバーの視認性を確保する一つの解決法になってきた。提案するリアルタイムアニメーション手法は表面張力に起因する接触角ヒステリシスという付着力を考慮する。提案法をドライビングシミュレータへの応用すれば、運転の安全性の向上に寄与する。提案法は比較的大き液滴を質点として扱い、外力として重力や空気抵抗だけでなく、接触角ヒステリシスによる動的撥水性を考慮することで水滴の運動をシミュレートする。指数関数的な数の静止した微小水滴は、単一の法線マップに統合してフロントガラスへ適用する。

映画産業や建築産業では、コンピュータ上にリアルなシーンを構築することは一般的である。リアルなシーンの必要性は高いが、液滴は変形する液体であり一般的に半透明であるため、液滴の形状の測定は容易ではない。水滴形状の計算に関する提案法では一枚の水滴画像から水滴形状の生成ができる。提案法は面上の水滴形状の計算においてシンプルで柔軟な方法なので、コンピュータ上によりリアルなシーンを構築するための役に立つ。提案法は、ロゴやアイコンやフォントなど、人工的な付着形状からも自然な見目の水滴を柔軟に生成できる。液滴のアニメーションも二次元の流体シミュレーション結果を利用して作成できる。付着領域のトポロジー変化に関して物理的な実験と比較する。