

자동차 사고 재구성 전문가 시스템의 설계

김현경*

A Design of Expert System for Reconstruction of Automobile Collision Accidents

Hyun-Kyung Kim*

요 약

자동차 사고 재구성이란 사고 상황으로부터 가능한 모든 정보를 수집, 분석하여 사고 거동 및 원인을 규명하는 작업을 의미한다. 본 논문에서는 자동차 사고 재구성에 직접 적용이 가능하도록 개발된 범용성의 정성적 충돌 전문가 시스템의 prototype을 소개한다. 이 시스템은 충돌 전 물체의 운동 방향과 공간에서의 정보가 주어졌을 때, 충돌로 인한 물체의 순간적인 운동을 정성적으로 예측한다. 분야 모델은 정성적 충돌 이론과 정성적 계산을 제공하는 정성적 수학의 지식 베이스로 구성된다. 충돌로 인한 물체의 운동을 해석하는 데 있어, 충돌 전 물체의 운동 방향과 충돌시의 기하학적 배치사이의 상호 작용을 분석하는 것이 그 핵심을 이루고 있다. 본 논문에서는 그 상호 작용을 밝혀 내어 정성적 표현 방식에 의거하여 해석하는 충돌 이론을 소개하였다. 추론 기관을 설계하는데 있어서는 동력학 정보뿐만 아니라 공간 정보를 추론하기 위한 기법이 제시되었다.

키워드: 정성적 추론, 공간 추론, 자동차 사고 재구성

* 한신대학교 정보통신학과

1. 서 론

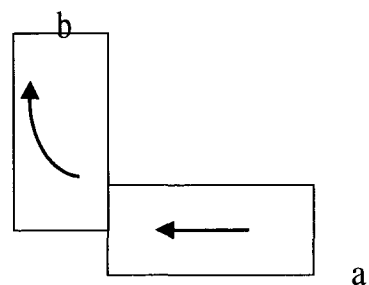
자동차 사고 재구성이란 사고 상황으로부터 가능한 모든 정보를 수집, 분석하여 사고 거동 및 원인을 규명하는 작업을 의미한다. 신뢰성 있는 과학적 사고 재구성은 차량 사고의 급격한 증가와 함께 그 중요성과 필요성이 강력히 인식되고 있다. 실제, 우리 나라의 경우에도 1994년 한 해 동안만 266,000여 건의 교통 사고[2]가 발생하였으며, 이웃 일본에서도 1988년 이래 1994년까지 교통 사고로 인한 사망자의 수가 1만 명을 넘고 있는 실정이다. 이와 같은 상황에서 교통 사고 방지책의 효과적인 실시를 위해서는 사람, 차, 환경 등 종합적 입장에서 교통사고의 조사와 분석을 실시하여, 발생상황을 정확하게 파악하는 것이 더욱 더 필요하다. 이를 위한 하나의 방법으로 구미 및 일본 등에서는 컴퓨터에 의한 교통사고 시뮬레이션을 추진하여 교통사고 해석에 이용하고 있다.

기존의 자동차 사고 재구성 분야에서 유명하고 또한 가장 널리 사용되고 있는 소프트웨어는 미국 NHTSA에서 개발한 CRASH3이며, J2DACS는 일본자동차 연구소에서 개발한 사고재현 프로그램으로서 일본의 관련기관에서 많이 사용되고 있다. 이외에도 CRASH 계열의 프로그램으로서 국내 유관기관 (도로교통안전협회, 국립과학수사 연구소)들이 사용하고 있는 미국의 EDVAP (EDCRASH, EDSMAC 등)가 있고, 프랑스의 ANAC, 독일의 EES-ARM 등의 사고 재구성 소프트웨어들이 세계 각국에서 사용 중이다.

그러나 기존의 자동차 사고 재구성 프로그램은 정확한 정량적 정보에만 의지하고 있어, 그러한 정보가 부족할 경우에 기존의 프로그램으로는 사고를 재구성하기가 용이하지 않다. 실제로 자동차 충돌 사고에 있어서 시간의 경과, 목

격자의 부재 등으로 인해서 사고 상황 보존이 곤란한 경우가 많아 완벽한 수치 정보를 얻는 것이 어려운 실정이다. 또한 충돌 후 거동 해석은 그 복잡성으로 인해 컴퓨터를 이용한 단순 계산 결과가 신뢰성을 얻기 어려운 경우가 많으며, 사고 후 상황을 토대로 한 전문가 시스템의 구축과 사고 재구성 전문가들의 경험에 근거하여 trial-and-error 계산 방법을 추구하는 것이 적절한 것으로 여겨진다.

본 논문에서는 충돌로 인한 순간적인 거동을 정성적으로 예측하는 전문가 시스템에 대하여 기술하고자 한다. 정성적 정보에 근거한 추론을 다루는 정성적 물리학(qualitative physics)은 미국을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, 실용화되어 산업 분야에서의 응용이 확대되고 있다. 그러나 공간에서의 추론은 1차원에 비해 공간이 갖는 복잡성으로 인하여 연구가 아직 미비한 상태이다. 공간에서의 물체의 운동을 분석하는 정성적 공간 추론 연구는 간단한 공간에서의 운동과 제한 조건이 많은 기계 기구에서 주로 행하여져 왔다[4,5,6,7,8,9]. 따라서 기존의 이론은 차량 충돌의 분석과 같은 일반적인 공간 추론 문제에 사용되기에는 어려움이 있다.



(그림 1) 자동차 a가 왼쪽 방향으로 진행하면서 정지한 자동차 b의 오른쪽 아래 부분과 충돌했을 경우, 자동차 b는 시계 방향으로 회전하게 된다.

[그림 1]은 미국 Northwestern 대학의 교통 연구소에서 발행한 교통 사고 조사 지침서[3]에서 발췌한 간단한 예제이다. 그림에 따른 설명에서 볼 수 있듯이 수치 정보의 사용 없이 자동차 충돌을 분석하고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 수준으로 충돌을 정성적으로 분석할 수 있는 전문가 시스템을 목표로 하여 prototype을 개발하였다. 개발된 시스템은 기본적으로 분야 모델과 추론 기관으로 구성되어 있다. 일반적으로 분야 모델은 특정 분야의 지식 베이스(knowledge base)를 의미하는데, 본 시스템에서는 정성적 충돌 이론과 정성적 계산을 제공하는 정성적 수학기분 모델로 구성된다. 충돌시의 물체의 배치, 운동 방향의 묘사를 나타내는 시나리오가 시스템에 주어지면, 추론 기관은 분야 모델의 지식 베이스로부터 순간적인 물체의 거동을 계산한다. 개발된 시스템은 다양한 경우의 차량 충돌에 적용하여, 정확한 정성적 결과를 얻을 수 있었다.

공간에서의 추론을 위해서는 공간에서의 표현 방식의 개발이 우선되어야 한다. 즉, 컴퓨터가 충돌을 분석하기 위해서는 두 물체의 모양, 충돌시의 배치, 운동의 방향, 힘의 방향을 정성적으로 묘사하는 표현 방식이 필수적이다. 본 논문의 2장에서는 정성적 공간 표현 방식이 기술되었다. 3장에서는 충돌로 인한 순간적인 물체의 운동을 해석하는 정성적 충돌 이론이 소개되며, 4장에서는 추론 기관이 소개되었다. 마지막으로 본 논문의 요약 및 향후 계획을 간략하게 설명한다.

2. 정성적 공간 표현

2.1. 정성적 벡터 표현 방식

정성적 수학은 정량적인 정보를 다루는 전통적인 수학과는 달리 숫자와 수식을 정성적으로 표현하는 방법을 연구한다. 본 연구에서는 기존의 정성적 수학이 기초한 1차원의 숫자 이외에, 이를 공간으로 확장하여 정성적 벡터 표현 방식 [1]과 그에 따른 연산을 개발 및 구현하여 분야 모델을 구축하였다. 물체의 공간에서의 움직임을 다루는 공간 추론의 문제에 있어서, 벡터는 위치, 힘, 운동 등의 방향을 표시하는데 필수적이다. 이러한 정성적 수학 분야 모델은 기존의 정량적 계산을 하는 프로그램의 수학 라이브러리(math library)에 해당된다. 정성적 분석에 근거한 시스템은 정량적인 기존의 수학 라이브러리를 사용할 수 없으므로, 분야 모델의 구축은 정성적 수학 라이브러리의 개발로부터 시작한다.

숫자는 그 숫자의 부호에 따라 -, 0, +로 표시되며, 절대 값을 표현하는 대신, 필요하면, 다른 숫자와 비교하여 <, =, >의 관계로 표시된다. 정성적 벡터 표현 방식은 2차원에서 구현하였으며, 방향을 나타내는 투플외에 각도의 개념을 추가시켜 더욱 정밀한 표현을 구현하였다. 각도의 경우도 절대 값을 표현하는 대신, 필요하면, 다음의 정의와 같이 각도에 따른 두 벡터 사이의 상대적 위치를 표현하여 두 벡터 사이의 각도의 차이를 구분할 수 있게 하였다.

정의 1 (CW) 정성적 벡터 v_2 부터 v_1 까지 시계 방향으로 잰 각도가 0보다 크고 π 보다 작은 경우 $CW(v_1, v_2)$ 이 참이 된다.

정의 2 (CCW) 정성적 벡터 v_2 부터 v_1 까지 반시계방향으로 잰 각도가 0보다 크고 π 보다 큰 경우 $CCW(v_1, v_2)$ 이 참이 된다.

벡터의 연산은 방향을 계산하는데 쓰인다. 숫자의 정확한 크기를 알지 못하여도 그 부호만으로 정성적 연산을 할 수 있다. 예를 들어 한

물체에 두 개의 오른쪽의 방향, 즉 (+0)의 힘이 가해질 경우, 합력도 (+0)의 방향으로 향할 것이다. 또한 한 물체에 (+0)의 방향의 힘과 (-0)의 방향의 힘이 가해진다면, 각 힘의 상대적인 크기에 대한 정보가 있어야 합력의 방향을 알 수 있을 것이다. 본 분야 모델에서는 두 벡터의 크기에 대한 정보가 주어졌을 때, 이를 반영하여 연산을 수행하도록 하였다. 예를 들어 (+0)와 (0+)의 힘을 더하면 (++)방향을 가리키게 된다. 이때 (+0) 벡터의 크기가 (0+)보다 큰 경우는 합력은 (+0)에 가깝게 되고, 반대의 경우는 (0+)에 가깝게 된다. (++)와 (--)의 연산과 같은 경우도 벡터의 크기를 이용하여 더욱 정확한 값을 계산하도록 하였다.

이와 같은 연산은 간단하지만, 이를 이용하여 광범위한 공간 문제를 해결할 수 있다. 다음은 충돌 이론에 유용하게 쓰이는 정의이다. 본 연구에서는 기본 연산을 확장하여 회전과 반평면을 계산하였다. 이를 위해 내적(dot product) ($a_1 \bullet a_2 + b_1 \bullet b_2 + c_1 \bullet c_2$)가 사용되었다.

정의 3 (Half-Plane) 정성적 벡터 x 와 y 의 내적의 부호가 + 또는 0이면 **Half-Plane** (x,y)가 참이 된다.

정의 4 (Open-Half-Plane) 정성적 벡터 x 와 y 의 내적의 부호가 +면 **Open-Half-Plane** (x,y)가 참이 된다.

정의 5 (Rotate-90) Rotate-90(v,d)은 벡터 v 를 d 의 회전 방향으로 90도 회전시켜 v 에 수직이 되는 벡터를 나타낸다. 회전 방향은 +(CCW:반시계 방향), -(CW:시계 방향), 0(회전이 없음)으로 표현된다.

이와 같이 구현된 수학 모델은 공간에서의 물체 및 운동, 힘의 방향을 정성적으로 표현하는데 토대를 제공하게 되며, 충돌 분야 모델 또

한 이를 기초로 모든 필요한 계산을 하게 된다.

다음은 정성적 벡터를 이용한 물체의 운동과 힘의 표현을 보여주고 있다.

정의 6 (Motion) Motion(obj,d)은 물체 obj 가 d 방향으로 움직이고 있음을 나타낸다.

정의 7 (Force) Force($s,d,obj2$)는 표면 s 에 외부 물체 $obj2$ 로부터 d 방향으로 힘이 가해짐을 표시한다.

정의 8 (Distributed Force) Distributed-Force($obj1,d,obj2$)는 물체 $obj1$ 에 외부 물체 $obj2$ 부터 직선 방향 d 로 힘이 가해짐을 표시한다.

정의 9 (Torque) Torque($obj1,r,obj2$)는 물체 $obj1$ 에 외부 물체 $obj2$ 로부터 r 방향으로 토크가 가해짐을 표시한다. 회전 방향은 시계방향(CW) 회전, 반시계방향(CCW) 회전, 무회전(no rotation) 중 하나로 묘사되며 CW는 -, CCW는 +, 무회전은 0으로 표현된다.

정의 10 (Net Force) Net-Force(obj,d)는 obj 에 작용하는 합력의 방향이 d 임을 표시한다. 합력은 **Distributed-Force**와 **Torque**로 물체에 작용하게 된다.

2.2. 표면 정보에 근거한 물체의 표현 방식

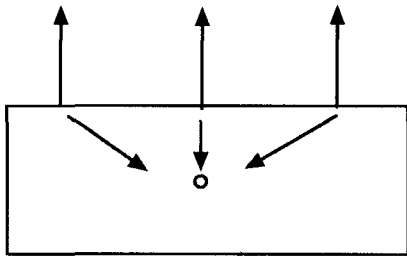
본 연구의 대상인 강체사이의 충돌은 충돌의 짧은 시간 동안 힘의 전달과 이에 따른 물체의 운동으로 이어진다. 이러한 힘은 물체의 표면이 접촉할 때 비로소 전달되며 어떻게 기하학적으로 접촉하느냐에 따라 그 결과가 결정될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 강체를 그 강체의 표면(외곽 경계선)들의 집합으로 표시하였으며, 두 물체의 접촉은 표면사이의 접촉으로 표현된다. 각 표면은 그 표면의 법선과 그 표면으로부터 질량 중심방향으로 표현된다. 예를 들어, [그림 2]

에서 2차원 물체의 위쪽의 표면은 세 개의 서로 다른 표면으로 표현된다: 세 개의 표면은 모두 위쪽으로 향하는 법선을 갖고 있으며, 질량 중심으로의 방향은 오른쪽 아래, 아래, 왼쪽 아래를 가리키고 있다. 코너는 인접한 표면들에 의해 표현되며, 코너에서는 법선 방향은 정의되지 않으며 질량 중심으로의 방향은 정의된다.

정의 11 (Surface) Surface(obj,s)는 표면 s가 물체 obj의 표면임을 표시한다.

정의 12 (Surface Normal) Surface-Normal(s,d)은 표면 s의 법선방향이 d임을 표시한다.

정의 13 (Origin Direction) Origin-Dir (s,d)는 표면 s로부터 질량 중심으로 향하는 방향이 d임을 표시한다.



(그림 2) 물체의 표면

3. 정성적 충돌 이론

본 장에서는 움직이는 물체가 다른 물체와 접촉하고 있을 때, 두 물체가 어떻게 서로 상대방에게 힘을 전달하느냐를 정성적으로 설명할 수 있는 이론을 기술하고자 한다. 개발된 이론은 두 물체의 운동 방향과 둘 사이의 접촉에 대한 공간적 묘사가 주어졌을 때, 충돌로 인한 순간적인 두 물체의 거동을 분석한다. 이러한 분석을 위해 다음과 같은 두 가지의 기본 문제를 해결하여야 한다.

움직이는 물체와 다른 물체와의 접촉이 주어졌을 때,

- 1) 움직이는 물체의 어떠한 운동이 상대방에게 영향을 주는가?
- 2) 움직이는 물체의 운동이 어떻게 상대방에게 영향을 주는가?

3.1. 힘의 전달

충돌이란 두 물체가 접촉을 통해 짧은 시간 내에 갑작스럽게 힘이 전달되어 두 물체의 거동이 순식간에 변하게 되는 현상이다. 그러나 두 물체가 서로 접촉하고 있는 모든 경우에 충돌로 이어지는 것은 아니다. 예를 들어, [그림 1]과 같이 접촉한 상태에서 차량 a가 오른쪽으로 움직인다고 가정하자. 이러한 경우 이 둘 사이에는 어떠한 힘의 전달도 일어나지 않게 된다. 따라서, 두 물체 사이의 접촉에 대한 묘사와 운동 방향이 주어지면 둘 사이의 충돌로 인한 영향을 분석하기에 앞서, 주어진 상태가 충돌로 이어지는지 아닌지를 분석하여야 한다. 본 연구에서는 물체의 운동의 방향과 접촉면의 법선 방향의 분석 방법을 개발하여 이러한 문제를 해결하였다.

<표 1>은 접촉한 두 물체 사이의 힘 전달의 법칙을 보여주고 있다. 움직이는 물체1이 물체2와 접촉하고 있을 때, 물체1의 운동 방향이 그 접촉면의 표면 법선 방향의 열린 반평면에 속하면, 물체1은 물체2에게 운동 방향과 같은 방향의 힘을 전달하게 된다. 이때 물체2는 물체1에게 반대 방향의 반작용 힘을 전달한다. 예를 들어 [그림 1]에서 차량 a의 운동 방향 (-0)은 그 접촉면의 법선 방향 (-0)의 반평면에 속하므로 그 운동 방향으로 차량 b에 힘을 전달한다. 차량 a가 (-) 또는 (-+)으로 움직일 경우도 힘이 전달된다.

그런데, 이 외의 방향으로 움직일 경우는 힘의 전달은 발생하지 않게 된다. 코너에서는 법선 방향이 정해지지 않으므로, 인접한 두 표면의 법선 방향으로 각각 계산 한 후 그 합집합을 취한다.

<표 1> 힘 전달의 법칙

$$\begin{aligned} &\forall (\text{obj1}, \text{obj2}, \text{s1}, \text{s2}, \text{sn}, \text{d}) \\ &[\text{RigidBody}(\text{obj1}) \wedge \text{RigidBody}(\text{obj2}) \\ &\wedge \text{Surface}(\text{obj1}, \text{s1}) \wedge \text{Surface}(\text{obj2}, \text{s2}) \wedge \\ &\text{Contact}(\text{s1}, \text{s2}) \wedge \text{Surface-Normal} \\ &(\text{s2}, \text{sn}) \wedge \text{Motion}(\text{obj1}, \text{d}) \wedge \\ &\text{Open-half-plane}(-\text{sn}, \text{d})] \\ &\Rightarrow [\text{Force}(\text{s2}, \text{d}, \text{obj1}) \wedge \text{Force}(\text{s1}, -\text{d}, \text{obj2})] \end{aligned}$$

3.2. 힘의 분배

본 연구에서는 충돌 후 거동은 1) 관련된 물체의 충돌 전 운동 방향과 2) 두 물체가 접촉한 각 표면의 법선 방향과 질량 중심으로의 방향의 상호 작용에 의해 결정됨을 밝혀내었으며, 이러한 상호작용을 분석하여 충돌의 정성적 동역학 이론을 개발하였다. 두 물체가 접촉한 후 충돌로 인한 그 후의 순간적인 거동은 다음과 같은 단계를 거쳐 계산된다: 1) 충돌로 인하여 두 물체에 가해지는 힘의 계산 2) 힘에 의한 토크와 직선 운동을 일으키는 힘의 계산

충돌로 인하여 물체에 가해지는 힘은 충돌 전 운동과 접촉면의 상호작용을 분석하여 계산한다. 힘은 상대방 물체의 운동으로 인해 가해지는 힘과 그 물체의 운동으로 인하여 상대방 물체로 가해진 힘에 대한 반작용으로 인한 힘을 더하여 계산하였다. 이 때 개발된 정성적 벡터 연산을 이용하여 계산된다. 충돌에 의하여 움직

이는 물체가 상대방에게 전달하는 힘은 그 물체의 운동과 같은 방향을 갖는다. 물체에 외부로부터 힘이 가해지면, 그 물체는 그 힘의 반대 방향의 반작용 힘을 상대방 물체에 가한다.

일단 합력이 계산되면 그로 인한 토크와 직선 운동을 일으키는 힘이 계산된다. 토크는 CW, CCW, 0으로 표현된다. 토크의 방향은 물체에 가해지는 합력의 방향과 접촉면에서의 질량 중심으로의 방향을 분석하여 결정된다. 이러한 분석에서 두 벡터의 각도의 상호관계가 핵심적 역할을 하는데, 개발된 정성적 벡터 연산을 이용하여 해석하였다. 물체의 접촉면에서 질량 중심으로의 방향이 표면에 작용하는 합력의 CW방향에 위치하고 있으면, 그 물체는 시계 방향으로 향하는 토크를 받게 된다. 또한, 그 상대적 위치가 CCW이면 반시계방향으로 향하는 토크를 받게 된다. 합력과 질량 중심으로의 방향이 같으면 토크는 작용하지 않는다. 한편, 직선운동을 일으키게 하는 힘의 방향은 합력의 방향과 같다. 예를 들어 그림 1에서 차량 b의 접촉면에서 질량 중심으로의 방향 (+)은 차량 b에 가해지는 힘 (-)의 CW 방향에 위치하고 있으므로 차량 b는 시계 방향으로 향하는 토크를 갖게 된다. 동시에 (-)로 향하는 직선 방향의 힘도 받게 된다. 표 2는 힘 분배의 법칙을 보여주고 있다.

<표 2> 힘의 분배 법칙

$$\begin{aligned} &\forall (\text{obj}, \text{s}) \\ &[\text{RigidBody}(\text{obj}) \wedge \text{Surface}(\text{obj}, \text{s}) \wedge \\ &\text{Origin-Dir}(\text{s}, \text{o}) \wedge \text{Net-Force}(\text{s}, \text{d}, \text{obj})] \Rightarrow \\ &[\text{Distributed-Force}(\text{s}, \text{d}, \text{obj}) \wedge \\ &[\text{CW}(\text{o}, \text{d}) \Rightarrow \text{Torque}(\text{obj}, \text{CW})] \wedge \\ &[\text{CCW}(\text{o}, \text{d}) \Rightarrow \text{Torque}(\text{obj}, \text{CCW})]] \end{aligned}$$

4. 공간 추론

분야 모델을 구축하는 궁극적인 목적은 추론을 위함이다. 추론 기법은 여러 유형이 있는데, 그 중에서 가장 대표적인 것은 정성적 시뮬레이션이라 할 수 있다. 본 연구에서는 가장 기본적인 전향 추론 방식인 시뮬레이션 방식을 설계, 구현하였다. 본 연구에서는 물체의 운동, 즉 공간에서의 추론을 다루고 있으므로 주로 1차원에서의 추론을 다루는 기존의 추론 기관을 사용하여 표현하기에는 불충분하다. 따라서 기존의 추론 방식에 공간 정보의 추론을 추가시켜 확장하였다. 일반적으로 정성적 시뮬레이션 프로그램은 어떤 시스템에 대한 묘사가 정성적으로 주어졌을 때, 그 시스템의 거동을 예측하게 된다. 거동은 정성적 상태(qualitative state)의 집합과 그들 사이의 전이(transition)로 나타내진다.

충돌의 분석 추론 과정은 기본적으로 다음과 같은 단계를 거쳐 계산된다.

1. 주어진 충돌 직전의 묘사로부터 각 물체에 대해 초기 상태를 생성한다.

2. 충돌 분야 모델의 지식 베이스로부터 충돌 직후의 상태를 계산한다.

2.1 접촉한 상태의 두 물체의 거동이 충돌로 이어지는지 아닌지의 여부를 결정한다.

충돌로 이어지는 경우에 대해,

2.2 충돌로 인해 각 물체에 가해지는 모든 힘을 찾아내어 그 합력을 구한다.

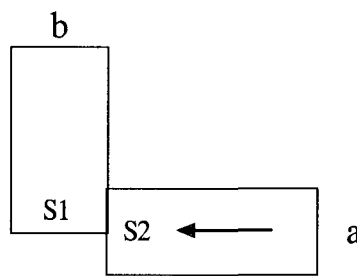
2.3 합력에 의한 토크와 직선 운동을 일으키는 힘이 계산된다.

2.4 초기 상태의 운동 방향과 가해진 힘으로부터 충돌 직후의 운동 방향을 구한다.

2.5 초기 상태의 위치와 충돌 직후의 운동 방향으로부터 충돌 직후의 위치를 구한다.

4.1. 정성적 상태

충돌 분석에 있어서는 힘과 공간에서의 배치에 의한 상호작용을 분석하는 것이 핵심적 역할을 하고 있으므로, 개발된 시스템의 정성적 상태는 공간 상태와 동력학 상태로 구성된다. 공간 상태는 접촉면의 정보와 물체의 배치와 같은 공간 정보에 관한 내용을 담고 있다. 반면 동력학



Surface(b, s1)
 Configuration(b) = (0+)
 Net-Force(b) = (00)

Surface-Normal(s1, (+0))
 Motion(b) = (00)
 Distributed-Force(b) = (00)

Origin-Dir(s1, (-+))
 Rotation(b) = 0
 Torque(b) = 0

(그림 3) 차량 b의 충돌 직전의 상태

상태는 주어진 시스템의 운동에 관한 정보를 갖게 된다. [그림 3]은 자동차 a가 왼쪽 방향으로 진행하면서 정지한 자동차 b의 오른쪽 아래 부분과 충돌하여, 자동차 b가 시계 방향으로 회전하는 경우를 보여 주고 있다. 또한 이와 아울러 충돌 직전의 차량 b의 정성적 상태를 보여주고 있다. s1과 s2는 차량 b와 차량 a의 접촉면을 나타낸다. Surface(b, s1), Surface-Normal(s1, (+0)), Origin-Dir(s1, (-+))는 접촉 표면에 관한 정보를 담고 있으며, Configuration은 차량 뒷면 가운데에서 앞면 중앙으로 향하는 방향을 표시한다. Motion은 직선 방향의 운동 방향, Rotation은 회전 방향을 표시하며 나머지는 힘에 관한 정보로 구성되어 있다.

4.2. 전이

전이는 정성적 상태가 주어졌을 때, 그 상태에서부터 일어날 수 있는 다음 상태를 계산하는 과정이다. 정성적 상태가 동력학 상태와 공간 상태로 구성되어 있으므로 전이 역시 이 두 상태의 변화를 추적하여 다음 상태를 찾아낸다.

1. 동력학 상태의 변화를 찾는다.

- 1.1 물체에 가해지는 합력을 분야 모델의 지식을 이용하여 구한다.
- 1.2 직선 운동의 변화를 계산한다.
- 1.3 회전 운동의 변화를 계산한다.

2. 공간 상태의 변화를 구한다.

- 2.1 위치의 변화를 계산한다.
- 2.2 각도의 변화를 구한다.

추론 시스템에서 모든 변화는 관련된 파라미터의 변화로 표현된다. 음의 값을 갖고 있는 파라미터의 값이 증가하고 있다면 그 값은 0으로, 계속해서 양의 값으로 증가 될 수 있을 것이다. 추론 시스템은 이와 같은 변화에 따른 파라미터

의 변화를 분석함으로써 주어진 시스템의 거동을 예측하게 된다. 전이 알고리즘의 각 단계를 설명하면 다음과 같다

1. 동력학 상태의 변화

동력학 상태의 변화를 계산하기 위해서는 물체에 가해지는 합력을 구하여야 한다. 그 합력과 그에 따른 직선 방향의 힘과 토크는 충돌 분야 모델로부터 계산되며, 이는 물체의 운동으로 이어진다. 직선 운동의 경우 일단 물체에 가해지는 직선 방향의 힘이 구해지면, 이는 x방향과 y방향으로 분해 된 후 각각에 대한 새로운 운동 방향이 계산된다. 표 3은 현재의 직선 운동 방향과 가해지는 힘으로부터 어떻게 다음 상태의 직선 운동 방향을 예측하는지를 보여주고 있다. 모호한 값은 “?”으로 표시되어 있으며, 이는 모든 가능성을 내포하고 있다.

<표 3> 가해지는 힘에 의한 운동 방향의 변화

		힘			
		+	0	-	?
운 동	+	+	+	0	+, 0
	0	+	0	-	?
	-	0	-	-	-, 0
	?	+, 0	?	-, 0	?

회전 운동도 CW는 -, CCW는 +, 무회전은 0으로 표현하고 있으므로 토크의 방향과 현재의 회전 방향을 표 3에 똑같은 방법으로 적용하면 새로운 회전 운동 방향이 결정된다.

2. 공간 상태의 변화

물체의 운동은 그 물체의 위치를 변화시킨다. 일반적으로 변화를 분석하는 과정을 경계 분석(limit analysis)이라 한다. 변화는 파라미터의 변화로 이어지며 이는 다른 파라미터 사이의 상대

적 값의 변화로 이어질 수 있는데 이를 찾아내는 과정을 경계 분석이라 한다. <표 4>는 새로운 위치가 어떻게 현재의 위치와 운동 방향에 의해 결정되는지를 보여주고 있다.

직선 운동은 위치의 변화를 유발하는데 이러한 변화는 <표 4>로부터 계산된다. 예를 들어 어떤 물체가 (+) 방향, 즉 오른쪽 아래 방향으로 직선 운동을 하고 있다면 그 물체의 x방향 위치는 증가할 것이며 y방향 위치는 감소하게 될 것이다. 회전 운동은 직선 운동과는 달리 그 운동 방향이 끊임없이 변하면서, 각도의 변화를 수반한다. 회전 운동의 방향은 다음과 같이 현재의 위치와 회전 방향에 의해 결정된다.

(회전 운동) 벡터 v 가 d 의 회전 방향으로 회전할 때 $Rotate-90(v,d)$ 은 공간에서의 운동 방향을 가리킨다.

<표 4> 운동에 의한 위치의 변화

		운동 방향			
		+	0	-	?
위 치	+	+	+	0	+, 0
	0	+	0	-	?
	-	0	-	-	-, 0
	?	+, 0	?	-, 0	?

회전 운동의 x-방향, y-방향이 이와 같이 주어지면 직선 운동과 똑같은 방법으로 표 4를 이용하여 다음의 새로운 위치가 결정된다. 자동차 충돌의 경우, 현재로서는 차량의 배치에 대한 정보는 후면 중앙에서 차량 앞면 중앙으로 향하는 상대적 위치를 나타내는 벡터인 configuration으로 표현되고 있다. 회전 운동은 이 configuration 벡터의 각도를 변화시켜, 새로운 configuration을 유

발한다. 예를 들어, [그림 3]에서 충돌 직전의 configuration이 (0+)이며, 충돌로 인한 회전 방향은 CW 즉 (+)이므로 충돌 직후의 configuration은 x-방향, y-방향에 표 4를 적용하면 (++)가 된다.

5. 결론

본 연구의 최종 목표는 충돌을 정성적으로 분석할 수 있는 범용성의 지능형 시스템의 개발 및 자동차 충돌 사고에의 적용이다. 본 논문에서는 현재까지 개발된 충돌 시스템의 prototype의 분야 모델과 추론 기관을 소개하였다. 앞으로는 이 prototype을 확장 보완하여 광범위한 경우의 충돌을 분석하는 범용성의 지능형 시스템을 개발하고자 한다. 또한 자동차 충돌이 갖는 특성을 연구, 이를 토대로 분야 모델을 구현하여 추가시킴으로써, 자동차 충돌 사고에 더욱 적절히 적용시키고자 한다.

현재까지 개발된 추론 기관은 충돌 직전의 시나리오 주어졌을 때, 충돌로 인한 순간적인 거동을 예측하는 시뮬레이션 방식으로 구성되어있다. 이는 전향 추론의 대표적인 방식으로 가장 기본적인 추론 방식이다. 충돌 분야 모델은 이를 통해 충돌의 다양한 경우에 적용되어 봄으로써, 여러 각도에서 시험해 볼 수 있었다. 전향 추론 방식이 주어진 원인에 대해 결과를 예측하는 반면, 후향 추론 방식은 주어진 결과가 대해 가능한 원인들을 역추적 하여 찾는 방식이다. 자동차 사고 재구성의 본질은 주어진 사고 결과에 대해 그 원인을 찾는 것이 그 핵심을 이루고 있으므로, 후향 추론 방식을 연구, 구현하여 현재의 추론 기관을 확장하고자 한다. 일반적으로 주어진 원인에 대해 그 결과는 한정적인 반면,

어떤 결과에 대해 그 원인은 다양할 수 있다. 따라서, 후향 추론은 그 과정이 복잡하고, 많은 계산을 요한다. 특히 정확한 데이터가 아닌 정성적인 데이터에 근거한 정성적 추론의 경우는 정확한 원인을 찾기가 어렵다. 그 대신 가능한 모든 원인을 찾는 경향이 있다. 이러한 추론 방식은 정량적 역해석 방법과 결합하여 사용되면, 상호 보완적 역할을 하리라 기대된다.

후 기

이 연구는 과학재단 과제 번호 96-0200-13-01-3에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김현경, "공간에서의 물체의 운동에 대한 정성적 추론에 관한 연구," 한국전문가시스템 학회지, 제3권2호, 1997
- [2] 도로교통안전협회, "교통사고 조사분석 사례집," 도로교통안전협회 사고조사부, 1995
- [3] Baker, L., Freink, L., "The traffic-accident investigation manual," North-western University Traffic Institute, 1986
- [4] Faltings, B., "Qualitative kinematics in mechanisms," *Artificial Intelligence* 44, 1990
- [5] Forbus, K., "Spatial and qualitative aspects of reasoning about motion," In proceedings of the First National Conference on Artificial Intelligence, August, 1980
- [6] Gelsey, A. and McDermott, D., "Spatial reasoning about mechanisms," Technical report, Yale University, 1988
- [7] Joskowicz, L., and Sacks, E., "Unifying kinematics and dynamics for the automatic analysis of machines.", 1991
- [8] Nielsen, P., "A qualitative approach to mechanical devices," In proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence, August, 1988
- [9] Randell, D., and Cohn, C., "Exploring naive topology: Modelling force pump," In Proceedings of the Third International Qualitative Physics Workshop, 1989