

■ 論 文 ■

Fuzzy-Genetic Algorithm기반의 자가적응형 돌발상황 검지모형 개발 연구

Development of a Fuzzy-Genetic Algorithm-based Incident Detection Model with
Self-adaptation Capability

이 시 복

(영산대학교 교통물류시스템학과 교수)

김 영 호

(영산대학교 교통물류시스템학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 기존모형의 분석을 통한 연구방향 설정
 - III. 적용이론
 - 1. 퍼지이론
 - 2. 유전자알고리즘
 - IV. 모형개발
 - 1. 유고검지모형 개발
 - V. 개발모형의 검증
 - 1. 실험데이터 수집
 - 2. 적용모형실험
 - 3. 통합유고검지모형 실험
 - VI. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 돌발상황검지, 유전자 알고리즘, 퍼지, ITS, 교통관리

요 약

본 연구에서는 기존의 돌발상황 검지모형의 단점인 crisp한 임계값 설정과 타 대상도로에 이식이 어려운 문제점을 보완하는 방법으로 퍼지추론모형과 유전자 알고리즘을 활용하였다. 퍼지추론모형을 이용하여 유고검지 알고리즘의 주요 구성요소들을 설계하였으며, 돌발상황 검지모형 스스로의 적응력(자가적응)과 현장 이식성(移植性)을 극대화하기 위하여 퍼지추론모형의 퍼지소속함수 최적화에 유전자 알고리즘을 적용함으로써 hybrid fuzzy-genetic 형태의 유고검지모형을 개발하였다. 개발된 돌발상황검지모형의 성능은 유전자 알고리즘의 특성상 적응이력과 비례하여 향상될 것이므로 본 연구의 결과만을 가지고 확정적 결론을 내릴 수는 없으나, 잠정적으로 검지율, 오보율, 검지 시간 등의 척도에서 기존 성능우수 모형과 대등한 성능을 나타내었다.

본 연구의 초점이 기존 모형의 성능지표 자체의 향상보다는 다양한 도로유형에 공히 적용 가능한 동시에 자가 적응력을 갖도록 하는 실험적 시도에 있었던 만큼 연구는 소기의 성과를 거두었다고 판단되며, 향후 이 분야 연구가 지향해야 할 중요한 방향성 하나를 제시하였다고 판단된다.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

우리나라 대다수 도시의 교통체증은 날로 심화되어 가고 있으며, 교통상황이 혼잡할수록 도로상에서 발생하는 예기치 않은 사건/사고 즉, 돌발상황의 과급효과는 더욱 극심해 질 수 밖에 없다. ITS(지능형 교통시스템 : Intelligent Transport Systems)의 핵심 기능인 교통관리의 성패는 이러한 돌발상황에 대한 신속한 관리 여부에 의해 좌우된다 해도 과언이 아니다. 현재 돌발상황을 검지하거나 확인하는 작업은 대부분 사람의 판단에 의존하고 있으나 이를 현장에 적용가능한 수준으로 자동화하기 위한 국내의 연구는 극히 미미한 실정이다. 특히 고속도로보다 교통상황이 복잡한 시가지 도로의 돌발상황검지에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 고속도로와 시가지 도로에 공히 적용이 가능하면서 스스로 현장의 특성에 적용할 수 있는 능력을 갖춘 실시간 자동 돌발상황 검지모형의 개발방법을 제시하고 이에 기초하여 실험적 모형을 구축하고자 하였다.

2. 주요 연구내용 및 방법 (요약)

본 연구는 먼저 기존 모형에 대한 분석을 통해 핵심적 개선요구사항을 파악하고 이를 실현할 수 있는 방법론을 개발하여 이를 기반으로 돌발상황 검지모형을 구축하고 Test 및 수정보완하는 일련의 절차로 진행되었다. 모형구축시에는 우선 연속류와 단속류 각각의 특성에 맞도록 검지알고리즘을 개별적으로 설계한 후, 이들을 하나로 통합하여 운용할 수 있도록 단일화하였다.

돌발상황검지모형의 주요 구성요소들은 퍼지추론모형을 이용하여 설계되었으며, 돌발상황 검지모형 스스로의 적응력(자가적응)과 현장 이식성(移植性)을 극대화하기 위하여 퍼지추론모형의 퍼지소속함수 최적화에 유전자 알고리즘을 적용함으로써 hybrid fuzzy-genetic 형태를 갖도록 하였다.

II. 기존모형 분석을 통한 연구방향의 설정

돌발상황검지 모형은 적용대상(고속도로, 시가지도로)에 따라 분류할 수 있다. 초기에는 주로 도시 고속

도로에서의 돌발상황검지가 관심의 대상이었으며, 이는 시가지도로 돌발상황검지 모형의 전신이기도 하다. 시가지도로의 돌발상황검지에 대한 연구는 비교적 최근에 등장하였다.

1. 국 외

1) 고속도로

지난 20여년동안 고속도로에서의 돌발상황검지 모형에 관한 많은 연구가 이루어졌다. 기존의 고속도로 돌발상황검지 모형은 주류를 이루고 있는 단순 비교식으로부터, 시계열, 통계, 교통류 모델링, 그리고 퍼지로지, 인공신경망 등의 다양한 형태로 개발되어 있다. 그러나, 대부분의 모형들은 오프라인 상태에서 정상시와 돌발상황시의 과거 기록 데이터를 이용하여 개발되고 평가된 것으로서, 이들 중 소수만이 실제 시스템에 적용되었다. 오프라인 환경에서 알고리즘을 테스트하는 것과 실제로 돌발상황검지 기술을 사용하는 것은 매우 다를 수 있으므로, 적절한 고속도로 돌발상황검지 알고리즘을 확보하기 위해서는 아직도 대다수 모형들에 대한 실시간 테스트가 필요하다. 고속도로의 돌발상황검지 모형을 형태별로 정리하면 다음과 같다.

- 비교식 알고리즘 : 가장 일반적인 모형으로, 기본적인 논리는 돌발상황에 의한 비정상적인 교통패턴을 확인하기 위해서 검지된 변수 값들을 미리 설정된 임계값과 비교하는 것이다(Stephanedes, Y.J. 등, 1993).
- 시계열 알고리즘 : 단기 교통상황 예측을 위하여 교통변수들의 최근 변화추이를 관찰하여 예측값을 미리 설정하여, 관측값과 예측값의 차이가 한계 이상으로 커지면 돌발상황으로 판단한다(Ahmed, S.A. 등, 1982).
- 확률기법 : 검지 변수들의 확률분포를 결정하고, 돌발상황시와 비돌발상황시의 데이터를 검토함으로써 돌발상황상황과 비돌발상황 상황을 구분하는 최적의 임계값을 결정하는 방법이다(Levin, M. 등, 1978).
- 교통류 모델링 : 미시적 교통류 모델링 연구를 응용한 방법으로, 비선형 미분방정식을 이용하여 정상시와 돌발상황시의 교통패턴을 구별한다(Hall, F.L. 등, 1993).
- 인공신경망과 퍼지로지 : 신경망이란 데이터 패턴

을 학습하고 일반화할 수 있는 능력을 가진 수많은 상호 연관된 처리요소(뉴런)들로 구성된 다층구조의 병렬·분산 정보처리 시스템을 말한다. 다층구조를 통해 입력(교통데이터)과 출력(돌발상황 상황/정상상태) 사이의 망을 통한 고도의 비선형 매핑이 가능해진다. 신경망 시스템의 '학습'이란 여러 층(layer)들 사이의 뉴런 연결선들의 가중치를 조정하는 과정을 말하며, 여기서 예측 결과와 실제 결과 사이의 차이를 최소화시키는 연결선의 가중치를 구하는 작업을 말한다. 보다 새로운 접근 방법으로 퍼지로지 시스템과 신경망 이론을 결합한 모형이 있는데, 이 모형은 퍼지로지의 불확실성 하에서의 의사결정 능력과 인공신경망의 학습 능력의 장점을 동시에 이용한 것이다(Cheu, R.L. 등, 1991).

2) 시가지도로

고속도로와 비교하여 시가지도로는 몇 가지 특성이 있다. 우선 고속도로는 교통의 흐름이 신호기와 같은 제어장치의 방해받지 않을 뿐 아니라 유출입 지점(램프)이 통제되어 있고, 기하 구조적으로 단순하다. 반면, 시가지도로는 다양한 교통제어와 방향전환, 돌발상황시 상대적인 차량우회의 용이성, 다변적인 교통변수 등으로 인해 고속도로보다 훨씬 더 복잡한 상황이 나타난다. 이러한 복잡성으로 인하여 시가지도로에서의 돌발상황검지에 관한 연구는 아직 초보적 단계이다. 그러나, 최근 교차로를 포함한 일반 시가지도로에 대한 연구도 이루어지고 있다.

Bell과 Thancanamootoo(1988)는 시가지도로 돌발상황검지 알고리즘에 대한 초기 연구중 하나로, 기본 개념은 신호주기 단위로 수집된 교통데이터를 활용하고자 제안하였다. Chen과 Chang(1993)는 모형에 내재한 학습기능을 통하여 실시간으로 돌발상황을 검지하고 스스로를 동적 교통류 변화에 맞추어 조정할 수 있는 시스템을 제안하였다. Ivan 등(1993)은 시카고 교외의 시가지도로망에서 적용하기 위해 ADVANCE라고 불리는 첨단 여행자정보 시스템의 일부로 돌발상황 검지 시스템을 개발하였다. Khan과 Ritchie(1994)는 인공신경망 모형을 돌발상황검지에 사용할 수 있는 가능성을 연구하였다. Stephanedes와 Vassilakes(1994)는 첨단교통관리시스템(ATMS)의 관리대상인 교차로에 대한 돌발상황검지 알고리즘을 개발하였다. Sellam 등

(1992)은 바이너리 형태로 디지털이징 된 비디오 영상을 분석하여 움직이는 자동차의 영상소를 배경으로부터 분리하는 방식의 시스템을 제시하였다.

2. 국내

국내의 돌발상황검지 모형개발에 관한 연구는 아직 시작단계라 할 수 있다. 고속도로의 경우 최근 들어 문헌상으로 소수 발표된 바 있으나, 일반 시가지도로 및 특수구간에 대하여는 연구가 극히 미미한 상황이다. 또한 고속도로 모형들도 아직 극히 개념적인 수준에 머물러 있을 뿐 아니라, 실제 적용사례도 찾아볼 수 없다.

국내에서 발표된 연구결과로, 유완(1998)은 「퍼지 시스템에 의한 고속도로 돌발상황응답 모형에 관한 연구」에서 돌발상황의 내용, 돌발상황 차량의 유형 및 위치, 돌발상황 처리시간 등의 자료를 검토하여 모형화할 수 있는 요소들을 선정·분석하고 퍼지로지 및 제어의 기법을 적용하여 보다 신속하고 정확하게 돌발상황 처리시간을 평가할 수 있는 돌발상황응답 모형을 구축하고자 하였다. 배성일과 서성기(1998)는 「교통사건들에 부응하는 실시간 교통제어 방안」을 통하여 퍼지로지(fuzzy logic)을 이용하여 교통사고 자동검지 및 교통사고로 인한 급격한 교통류 변화에 부응하는 교통제어 모형을 개발하였다. 이 외에도 「인공신경망을 이용한 고속도로 자동 돌발상황검지 모형의 개발」(장세봉, 1997), 「검지기 간격에 따른 돌발상황검지 알고리즘의 돌발상황검지시간 분석에 관한 연구」(강진기, 1994) 「간선도로 돌발상황검지기법 개발 연구」(이영인·황준환, 2001), 「도시고속도로 비혼잡상황에서의 자동 돌발상황 감지 알고리즘 개발」(김영찬·임성만, 2004) 등의 연구가 이루어 졌다.

3. 기존 모형의 한계 극복을 위한 접근

전술한 바와 같이 지금까지의 돌발상황검지 알고리즘 연구는 연속류인 고속도로 상황을 중심으로 이루어져 왔다. 자연히 고속도로 상황에서의 교통혼잡 및 정체를 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘들은 비교적 많이 개발되었다. 이러한 알고리즘들은 측정된 교통데이터와 임계값을 단순 비교하는 방식에서부터 현재의 관찰에 근거하여 미래의 교통조건들을 예측하는 교통류 모형에 이르기까지 다양하나, 공통적으로 특정한 임계

값을 사용함으로써 인해 태생적으로 임계값 근처에서 경계조건의 문제를 가질 수 밖에 없게 된다.

한편, 교차로와 시가지도로에 초점을 맞춘 돌발상황 검지 알고리즘 개발의 사례는 그리 많지 않다. 시가지도로는 교통의 흐름에 다층적인 요소들이 개입하는 단속류의 특성을 가지고 있어 알고리즘의 개발이 용이하지 않을 뿐 아니라, 검지장치 및 데이터의 구축이 미비하여 모형을 개발하기 위한 여건이 열악하다 할 수 있다.

또한 현존하는 대다수 돌발상황검지 기술의 가장 큰 단점은 대상도로에 따라 특정 임계값을 튜닝하여야 한다는 것이다. 이로 인해 특정도로를 위해 개발된 기 모형을 다른 타 도로에서 활용하기 위해서는 상당한 시간과 노력이 소요되는 임계값 설정 작업을 또 다시 반복할 수 밖에 없다는 것이다. 이러한 튜닝작업이 적절히 이루어지지 않으면 돌발상황검지 모형은 제 역할을 하기 어렵고, 실제로 현장에서 모형이 제대로 활용되지 못하고 있는 것도 튜닝 미비로 인한 성능저하(지나친 오보 등)에 기인한다고 할 수 있다.

기존 모형이 안고 있는 이러한 치명적 단점들을 보완할 수 있다면 돌발상황 검지 분야의 기술을 한 단계 발전시키는데 기여하는 바가 있을 것이라 판단하여, 개선방법으로서 특정 임계값을 사용하지 않으면서 모형 스스로가 자신이 적용된 환경(특정 유형 도로의 특정 지점)에 점차적으로 적응하고 진화해 가는 능력을 갖도록 하는 것에 연구의 초점을 맞추게 되었다.

III. 적응이론

1. 퍼지이론

퍼지이론은 최근, '불확실 시스템(system with uncertainty)' 또는 '개략적 추론(approximate reasoning)' 등과 같이 수학적으로 모형화가 어려운 시스템의 규명 방법으로써 각광받고 있다. 퍼지이론을 이용함으로써 기존의 임계값을 사용하는 돌발상황검지 모형의 공통적 단점인 경계조건의 문제를 극복할 수 있다. 또한 퍼지모형은 입력 변수의 불완전성이나 오류에 민감하지 않기 때문에 실시간 환경에서 적용성이 뛰어나다 할 수 있다. 퍼지추론 엔진을 가동하기 위해서는 먼저 소속함수(membership function)와 기본규칙(rule base)을 구성해야 한다.

1) 소속함수

소속함수는 x-y 그래프로써 표현되는데, 여기서 x축은 입력변수이고 y축은 소속정도를 나타낸다. 소속함수는 입력값이 변수축(x축)의 해당하는 범위 안에 들어올 경우 그 값에 해당되는 소속정도를 결정하며, 소속정도는 0과 1사이의 값을 갖는다.

2) 퍼지의 기본규칙

퍼지의 기본규칙은 입력값과 출력값 사이의 관계를 묘사하는 한 세트의 규칙들로 구성된다. 퍼지규칙은 "IF-THEN"의 서술문 형식으로서 예를 들어 "IF x1 is big and x2 is small, THEN y is medium"과 같이 표현된다. 여기에서 IF절은 선행조건, THEN절은 결과이다. 일반적인 퍼지추론 규칙은 다음과 같으며, 분할된 입력공간의 숫자에 따라서 변수마다 각기 다른 개수의 규칙이 필요하다.

- If x1 is A1 and x2 is B1, then y is C1.
- If x1 is A2 and x2 is B2, then y is C2.
- ⋮
- If x1 is Am and x2 is Bn, then y is Ck.

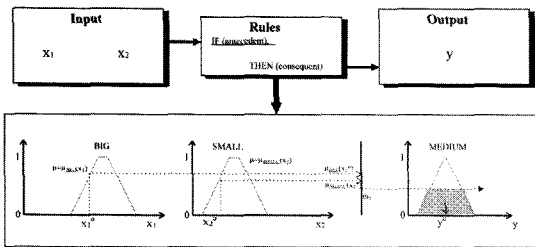
3) 퍼지추론

입력변수가 주어지면 퍼지추론 엔진은 각 선행조건과 입력값의 적합도(wi)를 구한다. "IF x1 is big and x2 is small"이라는 선행조건에 대한 적합도는 입력변수 x1이 퍼지집합 "BIG"에 속하는 소속정도와 x2가 퍼지집합 "SMALL"에 속하는 소속정도를 찾아 식(1)과 같은 계산과정을 통해 계산할 수 있다.

$$w_1 = \mu_{BIG}(x_1) \times \mu_{SMALL}(x_2) \tag{1}$$

- 여기서 w_i : 적합도
- μ_{BIG}, μ_{SMALL} : 소속함수
- x_1, x_2 : 입력변수
- i : 규칙의 번호

다음, "THEN y is medium"이라는 기본규칙에 따라 이 적합도를 출력변수 집합 Y의 부분집합인 MEDIUM에 대한 소속함수 μ_{MEDIUM} 으로 투영한다. 퍼지규칙이 다수인 경우에는 이러한 과정을 반복 수행



〈그림 1〉 퍼지추론 엔진

한다. 이어서, 투영된 면적의 중심을 구하면 구하고자 하는 결과값 y_0 를 얻을 수 있다. 〈그림 1〉은 퍼지추론 엔진의 개념을 나타내고 있다. x_1 and x_2 는 입력 변수이며, y 는 출력변수이다.

2. 유전자 알고리즘

1) 유전자 알고리즘의 정의

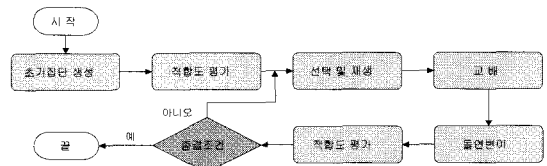
유전자 알고리즘은 선택적 도태나 돌연변이 같은 생물학적 진화의 원리로부터 착안된 알고리즘으로, 확률적 탐색이나 학습, 그리고 최적화를 위한 알고리즘이다. 진화 알고리즘의 한 형태로 고정된 길이의 이진 문자열을 염색체로 사용한다.

자연계에 있는 생물의 진화과정에 있어서, 어떤 세대를 형성하는 개체들의 집합, 즉 개체군 중에서 환경에 대한 적합도가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생할 수 있게 되며, 이때 교배 및 돌연변이가 발생함으로써 다음 세대의 새로운 개체군을 형성하게 된다. 유전자 알고리즘에서 개체의 수를 개체군의 크기라고 한다. 각각의 개체는 염색체를 가지고 있으며, 염색체는 복수개의 유전자의 집합으로 구성된다. 유전자의 위치를 유전자좌, 유전자가 취하게 되는 유전자의 후보를 대립유전자라 한다.

생물의 경우 염색체는 어떤 개체의 특징을 상세하게 결정하게 되는데, 예를 들어 머리가 검은 것은 염색체 중에 이러한 특징을 나타내도록 하는 유전자의 조합이 존재하기 때문이다. 이와 같이 유전자에 의해 결정되는 개체의 형질을 표현형, 이에 대응되는 염색체의 구조를 유전형이라 한다. 유전자 알고리즘은 이와 같이 생물의 유전적 계승과 적자생존이라는 개념을 인공적으로 모델링한 것으로 확률적 최적화 탐색방법이다.

2) 유전자 알고리즘의 과정 및 흐름도

유전자알고리즘의 진행과정은 다음과 같다.



〈그림 2〉 유전자 알고리즘의 흐름도

- Step1. 표현식(염색체의 구조)을 정의하고, 그 유전자의 적합도를 따지는 적합도 함수를 설계한다. 유전자조작을 정의한다.
- Step2. 초기 모집단을 생성한다(모집단의 수 제한).
- Step3. 모집단에 유전자조작을 실시한다.
- Step4. 적합도 함수를 이용하여 조작된 유전자들의 염색체를 평가한다.
- Step5. 설정된 확률에 의해 낮은 점수의 유전자는 제거하고, 높은 점수의 유전자들의 모집단에서의 비율을 높인다.
- Step6. 자기복제와 교배를 함으로써 새로운 모집단을 생성한다(국지 최적해를 대비한 변이를 만들어 임의 영역을 탐색).

3) 적합도 함수(fitness function)

목적 함수 즉, 최적화 하고자 하는 함수는 각 개체의 적합도를 평가하는 기반이다. 그러나 목적함수의 값의 범위는 문제마다 다르기 때문에 보통 정해진 구간 사이의 양수값을 갖도록 표준화된 값을 사용한다. 즉, 표준화하기 이전의 적합도의 값을 원적합도(raw fitness)라고 하며 표준화되어서 실제로 개체 선택의 기준이 되는 함수를 적합도 함수라고 한다. 원적합도를 표준화(또는 스케일링)하는 방법은 대표적으로 선형표준화(linear scaling), σ 절단(σ truncation), 거듭제곱표준화(power law scaling) 등의 방법이 있다.

4) 선택 메커니즘

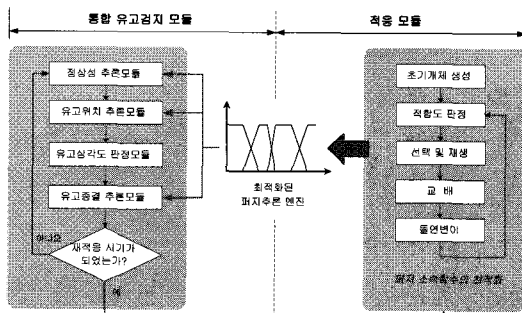
선택 연산자는 잘 적응한 해들은 살아남고 잘 적응하지 못한 해들은 도태되도록 유도함으로써 자연계의 선택 현상을 모형화한 연산자이다. 선택의 기반이 되는 것은 적합도 함수이며 여러 가지 선택 방법들이 존재하지만 그 기본 원리는 더 좋은 개체들에게 특권을 부여한다는 것에 있어서 공통적이다. 일반적으로 널리 사용되는 선택방법으로는 적합도 비례선택, 룰렛 선택법, 기대치 선택법, 순위 선택법, 토너먼트 선택법, 유량계

체 보존 선택법, GENITOR 알고리즘 등이 있다.

유전자 알고리즘은 그 단순성과 일반성에 의해 여러 가지 문제에 적용되고 있다. 구체적으로 가스 파이프라인의 최적화, 순회 판매원 문제, 로봇의 행동 진화, 신경망의 학습, 퍼지 소속함수의 최적화 등에 적용할 수 있다.

N. 모형개발

본 연구에서 개발된 모형은 돌발상황검지모듈과 적용모듈로 구성되며, 돌발상황검지모듈은 앞서 소개된 퍼지이론, 적용모듈은 유전자 알고리즘을 이용하여 설계하였다.



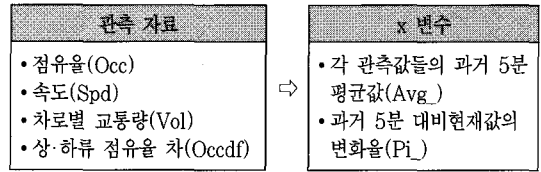
〈그림 3〉 돌발상황검지 프로그램의 구조

1. 돌발상황검지모듈의 개발

1) 퍼지추론엔진의 개발

본 연구에서는 퍼지이론과 그 적용 개념을 이용하여 돌발상황검지 알고리즘의 주요 모듈에 요소들로 설계하였다. 이 모형은 돌발상황으로 인해 초래된 비정상적 교통상황을 관찰함으로써 돌발상황을 검지하며, 비정상적 교통상황은 관측된 교통변수들의 급작스러운 변화로 나타나게 된다. 그러나, 돌발상황의 영향이 미미하여 검지변수가 크게 변화하지 않는 상황에서는 원천적으로 검지가 어려울 것이다.

알고리즘은 시간적으로는 교통변수들의 과거 수 분 동안의 평균값과 현재값을 비교하고, 공간적으로는 주변 교통변수를 비교하여 급작스런 변화를 찾아낸다. 이러한 비교과정이 퍼지이론에 의해 모형화 될 수 있는 것이다.



〈그림 4〉 돌발상황검지 변수설정

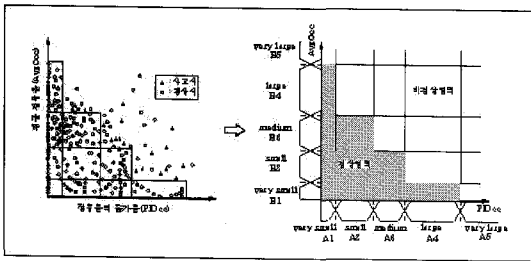
- 돌발상황검지 변수의 설정

변수들은 그 특성상 돌발상황검지가 용이하여야 하며 본 모형에서 적용하고자 하는 이론에 적합하여야 한다. 기본적으로 x변수는 검지기 등으로부터 수집되는 교통변수 또는 이들을 가공한 형태의 변수가 되고, y변수는 돌발상황 발생의 가능성으로 모형화가 가능하다. 종전의 모형들과는 달리, 퍼지 돌발상황검지모형은 돌발상황의 발생여부를 'Yes'나 'No'로 판단하는 것이 아니라 발생가능성을 0에서 1사이의 어떤 값으로 판단하게 됨으로써, 시스템운영자의 최종 판정을 지원할 수 있는 보다 직관적인 정보를 제시할 수 있다.

현장 검지기에서 수집되는 교통자료는 불규칙한 변동이 매우 심하고, 돌발상황발생 전후 상황이 잘 나타나지 않을 수 있으므로 돌발상황검지 변수를 설정할 때 이러한 상황을 잘 고려해야 한다. 검지기로부터의 관측 자료에 기초하여 〈그림 4〉와 같이 검지변수(x변수)를 설정하였다.

- 소속함수와 기본규칙

퍼지 입력공간을 나타내는 그래프에 점유율, 속도 등의 관측자료에 대한 점을 찍는다. 이 입력공간은 각각 입력변수인 관측값들의 과거 5분 평균값(y축)과 과거 5분 대비 현재값의 변화율(x축)을 나타내는 두 축으로 이루어진 2차원 평면공간이다. 각 그래프는 먼저 돌발상황시와 평상시가 공존하는 영역을 따라 생기는 계단 모양의 선으로 이분된 다음, 직사각형 모양의 소구역으로 나뉘게 된다. 〈그림 5〉는 점유율에 대한 두 가지 입력변수에 따라 소속함수와 기본규칙을 설정한 예이다. 각 변수는 'very small'에서 'very large'까지의 5단계로 나뉜다. 그래프 바깥쪽의 사다리꼴은 소속함수를 나타내며 입력변수가 각 단계에 소속되어 있는 정도를 나타낸다. PIOcc를 x_1 , AvgOcc를 x_2 , 출력값의 집합을 y 라 하고, C_1 을 정상상태, C_2 를 비정상(돌발상황)상태라 설정하면 다음과 같이 규칙을 정할 수 있다.



〈그림 5〉 소속함수와 기본규칙의 설정

- 정상시의 규칙세트

- i) x_1 이 A_1 이고 x_2 가 B_4 이면 y 는 C_1 이다.
- ii) x_1 이 A_2 이고 x_2 가 B_3 이면 y 는 C_1 이다.
- iii) x_1 이 A_3 이고 x_2 가 B_2 이면 y 는 C_1 이다.
- iv) x_1 이 A_4 이고 x_2 가 B_1 이면 y 는 C_1 이다.

⋮

- 비정상시의 규칙세트

- i) x_1 이 A_1 이고 x_2 가 B_5 이면 y 는 C_2 이다.
- ii) x_1 이 A_2 이고 x_2 가 B_4 이면 y 는 C_2 이다.
- iii) x_1 이 A_3 이고 x_2 가 B_3 이면 y 는 C_2 이다.
- iv) x_1 이 A_4 이고 x_2 가 B_2 이면 y 는 C_2 이다.

⋮

각 규칙에 대한 적합도를 계산하기 위해 식(1)을 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$w_i = A_m(x_1) \times B_n(x_2) \tag{2}$$

여기서 $A_m(x_1)$, $B_n(x_2)$ 은 각각 변수 x_1 와 x_2 이 함수 A_m , B_n 에 소속된 정도를 나타내는 소속함수값이다. 해당위치에서의 최종추론결과 y_0 는 정합도 μ 와 같은 의미로 각 규칙의 적합도를 합하여 구할 수 있다. y_0 또는 μ 는 정상시의 규칙을 이용했다면 해당위치가 정상일 확률을, 비정상시의 규칙을 이용했다면 해당위치가 돌발상황시일 확률을 나타낸다.

$$y_0 = \mu = \sum w_i \tag{3}$$

2) 돌발상황검지 알고리즘 실행루틴

알고리즘은 정상성추론, 위치판단추론, 돌발상황심각도추론, 돌발상황종결추론의 4개의 모듈로 구성되어 순

차적으로 동작한다.

- 정상성 추론모듈

정상성 추론모듈은 돌발상황을 판단할 수 있는 모든 검지기의 교통변수를 관측하지 않고, 미리 지정되어진 변수(점유율)만을 검사하여 돌발상황이 발생할 가능성을 검사하는 모듈이다. 3번을 연속적으로 추론하도록 설계하여 변수값이 임의로 되는 상황에 대한 오류를 감소하여 오보율을 줄일 수 있도록 하였다. 퍼지추론을 통해 동작하며 돌발상황발생이 의심스러운 위치에서만 위치판단 추론 모듈을 동작시킴으로서 대부분이 정상상태일 도로상황에 맞추어 수행속도를 최소화하도록 필터링하는 역할을 한다.

- 위치판단 추론모듈

정상성 추론모듈을 통해 돌발상황발생이 의심스러운 위치에서 지정된 모든 교통변수에 대해 돌발상황 발생에 대한 퍼지추론을 통해 돌발상황상황이 발생되었음을 확정하는 모듈이다.

또한, 분석을 실제의 교통상황을 미리 설정된 여러 개의 돌발상황패턴들과 비교하여 가장 적합도가 높은 패턴을 찾아내는데, 이 패턴을 초래하는 위치가 실제 돌발상황위치라고 할 수 있다. 이 적합성 분석과정도 퍼지추론 과정을 통해 설계되었다.

- 돌발상황심각도 추론모듈

위치판단추론모듈을 통해 돌발상황이 발생 및 위치가 확정되면, 차선별 통과교통량을 분석하여 돌발상황의 심각도를 계산하는 모듈이다.

- 돌발상황종결 추론모듈

발생된 돌발상황상황이 끝나는 시점을 추론하는 모듈이다. 퍼지추론을 통해 돌발상황이 발생된 검지기의 교통변수가 다시 정상상태가 되면 돌발상황이 종결되었음을 알린다.

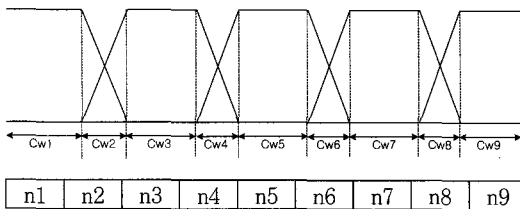
2. 유전자 알고리즘을 활용한 적응루틴 개발

본 연구를 통해 개발한 돌발상황검지 시스템에서는 유전자 알고리즘을 퍼지시스템의 최적화 도구로 활용하였으며 그 중 소속함수 및 규칙의 개수 등을 최적화하는 방법으로 사용하였다. 축적된 정상상태 및 돌발상황

상태의 자료를 기초로 퍼지추론 엔진의 소속함수를 주
기적으로 최적화시킴으로서 전이성을 증대할 수 있다.

1) 표현식의 결정

표현식이란 문제의 탐색공간 내 후보원소를 고정된
일렬의 문자열로 관계 지워주는 매핑과정으로 곧 문자
열의 길이와 문자의 크기를 결정하는 것이다. 본 연구
에서 적용하고자 하는 퍼지추론의 소속함수의 최적화를
위한 표현식은 <그림 6> 과 같이 정의할 수 있다.



$$n_1 = \frac{C_{w1}}{l}, n_2 = \frac{C_{w2}}{l}, \dots (l = \sum C_{wi})$$

<그림 6> 퍼지시스템의 유전자알고리즘 표현식 결정

2) 적합도 함수의 결정

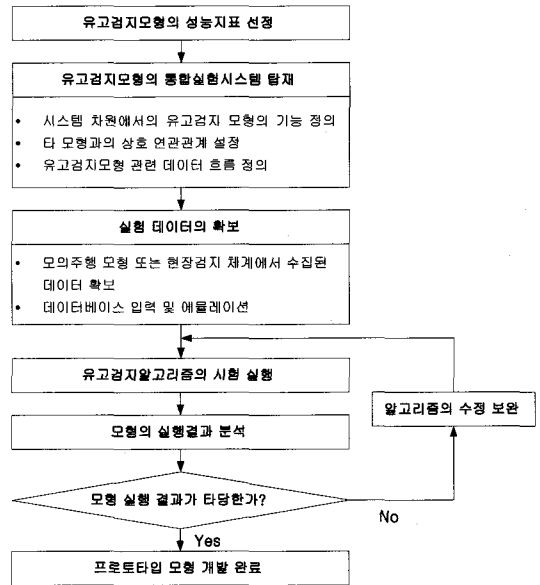
적합도는 평가함수로 계산될 수 있으며, 임의의 염
색체에 대해서도 적합도 값을 정해 줄 수 있어야 한다.
본 알고리즘에 적용되는 적합도 함수는 오보율을 줄이
고, 검지율을 증가시키는 것으로 설정한다.

V. 개발모형의 검증

각 모듈에서 모형의 성능을 좌우할 수 있는 구성요
소를 다양하게 설정하여 시험하고 분석함으로써 개발된
돌발상황검지모형이 목표 성능을 갖도록 개선하였다.
이 과정의 개략적인 절차는 <그림 7> 과 같다.

1. 실험데이터 수집

모형의 시험을 위해서는 실험 데이터의 확보가 전체
되어야 한다. 실험 데이터는 모두 현장에서 직접 수집
하는 것이 가장 바람직하나, 돌발상황시의 데이터는 수
집이 매우 어렵고 정확성도 보장하기가 어려운 문제가
있어 현장상황을 모사할 수 있는 시뮬레이션 데이터의
병행사용이 불가피하였다. 결과적으로 현장수집자료는
정상상황시에 국한하여 사용하되, 시뮬레이션 데이터를



<그림 7> 모형 Validation작업 흐름도

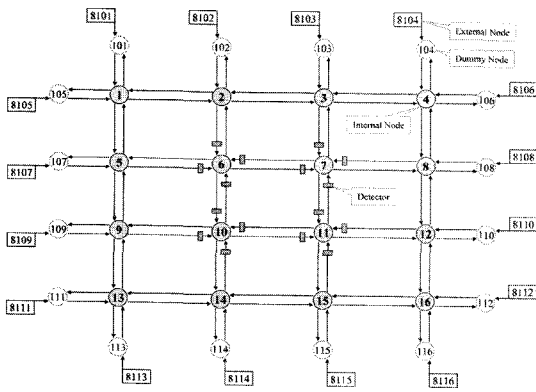
보완하는 방법으로 사용되었으며, 돌발상황시 데이터는
모두 시뮬레이션 결과를 활용하였다.

1) 시뮬레이션 모형을 활용한 실험데이터 수집

실제 현장에서는 지점별로 다양한 상황의 데이터 확
보에 상당기간이 소요되며 특히 돌발상황상황의 데이터
는 수집이 어렵다. 따라서 돌발상황시의 현장상황을 모
사한 시뮬레이션을 통해 확보된 실험 데이터를 활용하
였다.

[시가지도로]

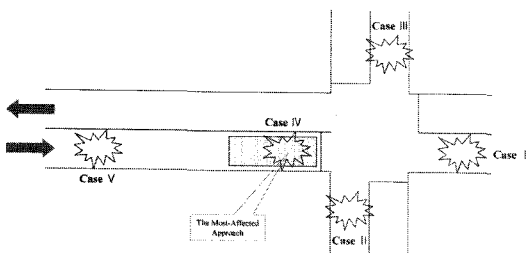
- 시뮬레이션 모형 : HWA의 미시 교통류 주행 모형
인 CORSIM(NETSIM)
- 도로망 구성 :
 - 대상 도로망은 교통량 입력을 위한 16개의 외부
노드와 실제 교통류의 회전이 일어나는 16개의
내부노드, 그리고 돌발상황상황을 연출하기 위한
40개의 가상노드로 구성(<그림 8>)
 - 각 내부노드의 모든 접근로는 편도 4차선으로 1
개의 좌회전 전용차로, 2개의 직진 차로와 1개의
직진/우회전 공용차로로 구성
 - 시가지도로의 경우 NETSIM을 이용하여 돌발상
황상황을 설정하기가 용이하지 않으며, 이를 해
결하기 위해 <그림 8> 과 같이 가상노드를 설정



〈그림 8〉 시가지도로 모의주행 대상 도로망

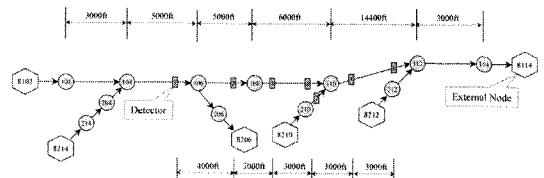
하여 시뮬레이션 데이터를 생성

- 교통조건 : 정상상태의 교통데이터를 생성하기 위해 $v/c=0.1$ 정도의 한산한 교통상태부터 과포화 교통상태($v/c=1.5$)까지 충분한 양의 교통데이터를 생성하여, 퍼지 소속함수의 최적화를 위한 유전자 알고리즘의 입력데이터로 사용
- 신호제어전략 : 신호제어 전략은 설정된 교통량 조건에 따라 아래의 기본가정에 의해 TRANSYT-7F로 최적화
 - TRANSYT-7F는 현시순서를 최적화하지 못하므로 네트워크상의 모든 교차로에 대해 동일한 신호현시순서를 적용하여, 선행좌회전(Dual Lefts Leading without Overlap)으로 구성
 - 교통량에 관계없이 운전자의 예상을 고려한 최소 녹색시간 적용하여, 직진 15초, 좌회전 10초 적용
- 돌발상황데이터 확보를 위한 시나리오
 - 심각도 : 2개 차로 차단(50%용량감소), 3개 차로 차단(75%용량 감소)
 - 돌발상황지속시간 : 10분
 - 돌발상황위치 : NETSIM으로 모의주행 가능한 5가지 상황 설정 (〈그림 9〉)

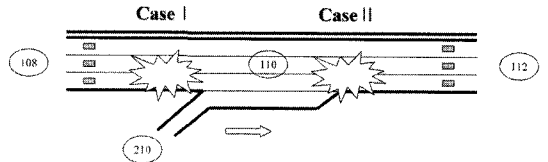


□점근로 : Case IV □출발로 : Case I, II, III □도로 중간 : Case V

〈그림 9〉 돌발상황발생 위치별 시나리오



〈그림 10〉 고속도로 모의주행 대상 도로망



□램프 상류 본선구간 : Case I □램프 하류 본선구간 : Case II

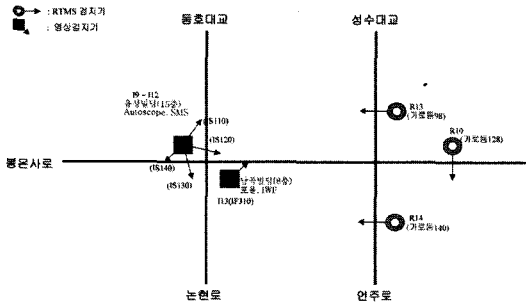
〈그림 11〉 돌발상황 발생위치별 시나리오

【고속도로】

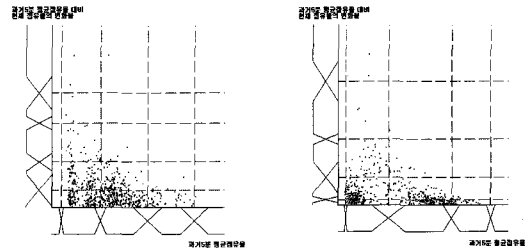
- 시뮬레이션 모형 : FHWA의 미시 교통류 모형인 CORSIM(FRESIM)
- 도로망 구성 :
 - 대상 도로망은 본선에 3개의 유입 외부램프노드와 2개의 유출램프 노드로 〈그림 10〉과 같이 구성되어 있으며, 본선에 6개의 검지기와 돌발상황 위치판단을 위하여 유입램프에 1개의 검지기를 설치
 - 본선은 편도 3차선으로 설정되어 있으며, 유출입 램프에는 가·감속 차선을 설치
- 교통조건 : 정상상태의 교통데이터를 생성하기 위해 $v/c=0.1$ 정도의 한산한 교통상태부터 과포화 교통상태($v/c=1.5$)까지 충분한 양의 교통데이터를 생성 → 퍼지 소속함수 최적화를 위한 유전자 알고리즘의 입력데이터로 사용
- 돌발상황데이터 확보를 위한 시나리오
 - 심각도 : 1개 차로 차단(33.3%용량감소), 2개 차로 차단(66.7%용량감소)
 - 돌발상황지속시간 : 10분, 20분
 - 돌발상황위치 : FRESIM으로 모의주행 가능한 2가지 상황 설정 (〈그림 11〉)

2) 현장검지기 수집자료

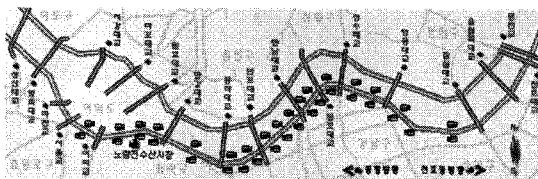
개발된 모형의 현장 적용성 시험(정상상황하에서)을 위하여 다음과 같이 현장데이터를 수집하여 시뮬레이션 데이터와 병행하여 사용하였다.



〈그림 12〉 SK(주) TSD 교통정보센터 현장데이터 수집지점



(a)고속도로(올림픽대로 교통관제센터) (b)시가지도로(SK(주) TSD 교통정보센터)
〈그림 14〉 현장 검지기 데이터 Plotting 그래프



〈그림 13〉 서울시 올림픽대로 교통관제센터 수집매체 설치현황

〔시가지도로〕

서울시 강남구 일대 SK(주) TSD 교통정보센터의 검지기 시스템 중 2개의 교차로를 선정하여, 2일간의 영상 및 RTMS 검지기 자료를 1분 단위로 수집하여 활용하였다.

〔고속도로〕

서울시 올림픽대로 교통관제센터의 천호동 방향 17개 영상검지기 자료를 2일간 수집하여 활용하였다.

2. 적응모듈 실험

반복적인 실험을 통해 퍼지추론 엔진의 소속함수의 형태에 영향을 미치는 적응모듈의 여러 가지 요소를 분석하였다. 이 과정에서 적응모듈 실험시간 측면의 효율성을 확보하면서 최적의 퍼지 입력공간 분할 형태를 생산하는 요소값을 도출하였다.

- ① 실험 데이터 : 현장에서 수집된 점유율, 속도의 Raw Data 사용 (〈그림 14〉는 점유율 자료를 퍼지 소속함수의 입력공간 상에 나타낸 예)

- ② 분석내용 및 결과

〔교배 및 돌연변이 확률〕

교배 및 돌연변이 확률을 0.01에서 0.1까지 변화시키면서 적합도 함수값의 수렴성 및 수렴시간을 비교하

였으며, 교배 확률 변화에 따른 적합도 함수의 수렴성 및 수렴속도의 차이가 거의 없었으므로 일반적으로 사용되는 교배 및 돌연변이 확률인 0.05와 0.01을 활용하기로 하였다.

〔초기개체수〕

초기개체수를 10개에서 100개까지 변화시키면서 적합도 함수값의 수렴성 및 수렴시간을 비교하여 적정값을 도출하였으며, 일반적으로 적합도 함수값은 초기개체수가 증가할수록 최적의 함수값으로 수렴되나, 적응모듈의 수행시간이 기하급수적으로 증가하는 단점을 지니므로 적합도 함수값이 적정값으로 수렴하면서 수행시간이 최소가 되는 초기개체수인 20개로 결정하였다.

3. 통합돌발상황검지 모듈 실험

성능지표(검지율, 오보율, 검지시간)에 영향을 미치는 돌발상황검지모듈의 핵심 요소(소속함수의 개수, 적합도 함수)에 대한 분석을 통해 최적대안을 도출하였다. 여기에서, 퍼지함수의 개수는 사전 실험을 통해 5개 이상이면 충분하되 효율성을 위해 7개 이하로 제한하여 테스트하는 것이 합리적인 것으로 분석되었다. 최적의 적합도 함수란 퍼지 영역내의 정상/돌발상황이 중첩되는 경계부근을 퍼지함수로 하여금 가장 합리적으로 분할, 표현토록 하여 검지율, 오보율 측면에서 우수한 결과를 가져올 수 있도록 하는 목적함수로서, 최적 적합도 함수를 찾아내기 위해 두 상황의 경계영역에서 정상데이터 포인트를 최대한 정상상황 포인트로서 분류하면서도 돌발상황의 영역(면적)을 최대한 확보할 수 있도록 두가지 목표를 혼합한 형태의 대안 3종류를 설정하였다.

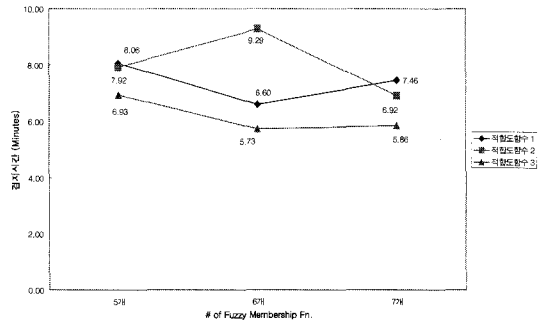
또한 이 실험을 통하여 다양한 교통상황에 대한 돌발상황검지유무 및 알고리즘상의 오류를 검증하였다.

【성능지표】
 □ 검지율(DR) = 실제돌발상황 검지횟수/전체 돌발상황발생횟수×100 (%)
 □ 오보율(FAR) = 돌발상황검지 오보횟수/전체 검지횟수×100 (%)
 □ 검지시간(DT) = 돌발상황이 실제로 발생한 시간부터 모형이 돌발상황을 검지할 때까지 걸린 시간(분)

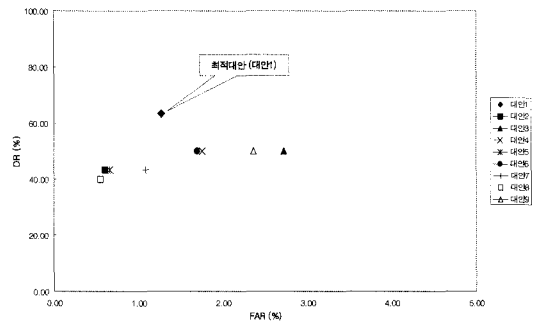
- ① 실험 데이터 : 모의주행 자료를 중점적으로 활용하고 일부 현장자료를 병행하여 활용하였다.
- ② 분석내용 : 서로 다른 소속함수의 개수와 적합도함수로 조합된 시나리오(〈표 1〉 참조)별 시험을 통해 최적의 성능지표를 갖는 조합을 도출하였다.
- ③ 실험결과
 실험결과는 다음의 〈그림 15〉 ~ 〈그림 22〉 와 같다.

【시가지도로】

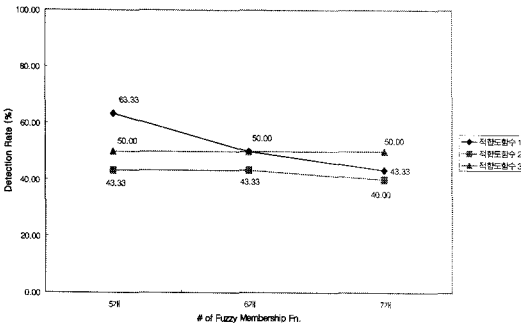
최적대안으로 검지율의 경우 대안 1이 타 대안과 비교하여 매우 높는데 반해 오보율은 모든 대안이 큰 차이를 보이고 있지 않음으로 최적대안을 대안 1(소속함수 개수 5개, 적합도함수 I)로 선정하였다.



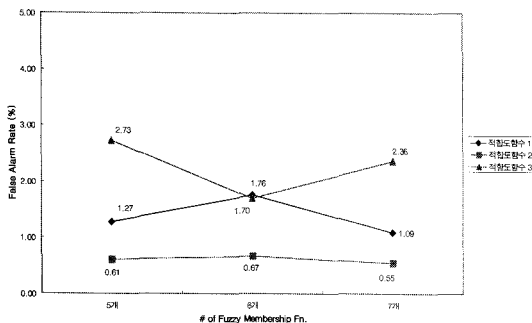
〈그림 17〉 검지시간 (시가지도로)



〈그림 18〉 검지율 vs. 오보율 (시가지도로)



〈그림 15〉 검지율 (시가지도로)



〈그림 16〉 오보율 (시가지도로)

최적대안(대안 1)에 대한 주요성능지표를 살펴보면 검지율은 63.3%이고, 오보율은 1.27%, 검지시간은 8.1분 이었다.

검지율의 경우 v/c가 0.5 이하이고, 돌발상황으로 인한 차선의 차단범위가 50%(2개 차로 차단) 미만인 경우 검지확률이 매우 적었다.

오보율은 교통량이 적거나 과포화 상태일수록 높은 값을 나타내었다. 교통량이 적은 경우는 돌발상황으로 오인될 수 있는 교통변수의 무작위적 변동이 심하기 때문이고, 과포화 상태에서는 한 번 돌발상황으로 오인된 교통상황이 해소되지 않아 나타나는 오보가 상대적으로 많기 때문이다.

검지시간은 대체로 교통량이 많을수록 빠를 것으로 예상되었으나, 신호제어 등 시가지도로의 복잡성으로 인해 교통량에 따른 일정한 추세는 관찰되지 않았다. 교통량이 적은 경우에 검지시간이 긴 것은 검지기에 돌발상황으로 인한 혼잡이 영향을 미치지까지 긴 시간이 소요되기 때문이며, 교통량이 많은 경우에 검지시간이 긴 것은 Random Fluctuation과 실제 돌발상황발생 시간이 중첩되기 때문이다.

〈표 1〉 통합돌발상황검지 모듈 실험을 위해 설정된 대안

구분	소속함수개수	적용 적합도 함수
대안 1	5	적합도함수 I $\text{Max. } \frac{\text{Normal Count}}{\text{Total Count}} \times \frac{\text{Abnormal Area}}{\text{Total Area}} \times \frac{1}{(1 + \epsilon)^{\text{Abnormal Count}}}$
대안 2	6	
대안 3	7	
대안 4	5	적합도함수 II $\text{Max. } \frac{\text{Normal Count}}{\text{Total Count}} \times \frac{\text{Abnormal Area}}{\text{Total Area}} \times \frac{1}{\text{Abnormal Count}}$
대안 5	6	
대안 6	7	
대안 7	5	적합도함수 III $\text{Max. } \frac{\text{Normal Count}}{\text{Total Count}} \times \frac{\text{Abnormal Area}}{\text{Total Area}}$
대안 8	6	
대안 9	7	

Normal Count : 정상영역의 정상데이터 개수
 Abnormal Count : 비정상영역의 정상데이터 개수
 Normal Area : 정상영역의 면적
 Abnormal Area : 비정상영역의 면적
 Total Count : 전체 데이터의 개수(입력데이터는 정상데이터)
 Total Area : 전체 영역의 면적(면적은 1로 정규화)
 ϵ : $1 / \text{Total Count}$
 # : 소속함수의 개수

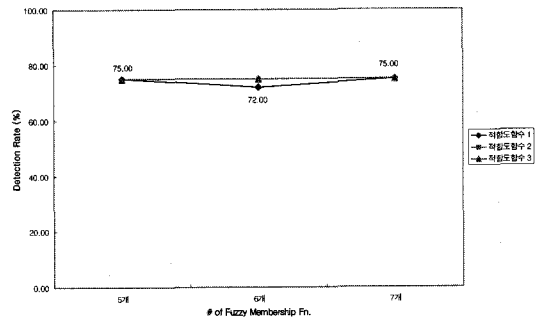
돌발상황위치판단은 접근로 및 Mid-Block에서 돌발상황이 발생한 경우 정확하게 검지하였다. 출발로 상에서 발생한 돌발상황의 경우, 위치를 검지기 자체로 오판되는 경우가 다수 발생하였으나 이와 같은 돌발상황을 제대로 판단하려면 해당 출발로로 교통량을 유입시키는 모든 접근로가 돌발상황으로 인해 충분히 영향을 받아야 함에도 불구하고 NETSIM 모형은 이러한 상황을 제대로 반영하지 못하는 점과 시물레이션 모형으로 사용된 NETSIM 모형이 돌발상황위치설정이 용이치 못하여 가상노드를 설정해서 돌발상황을 발생시켜야 하는 한계를 지녔기 때문이다. 알고리즘이 돌발상황발생위치에 대해 교차로내의 정확한 정보를 제공하지 못하더라도 일반적으로 돌발상황상황이 지점정보가 아닌 구간정보(도로구간명, 교차로명)로 제공되는 점을 감안하면 부분적으로는 매우 유용한 정보로 활용될 수 있다.

돌발상황종결판단의 경우 돌발상황이 발생한 것으로 검지된 대다수 시나리오에서 돌발상황이 무리없이 종결된 것으로 판단되었으나, 돌발상황이 검지된 후 종결되지 않은 것으로 판단된 시나리오는 교통량이 많아 시물레이션 시간동안 돌발상황으로 인한 지체가 해소되지 않은 경우이다.

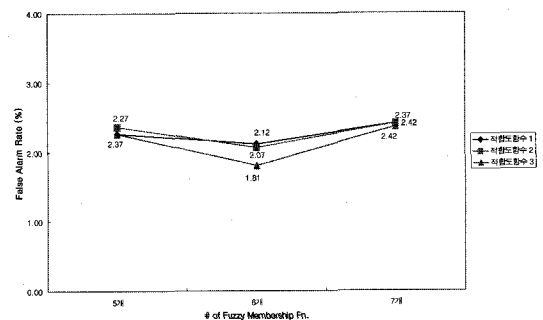
【고속도로】

고속도로의 경우 〈그림 22〉에 나타난 바와 같이 교통류가 안정된 상태이므로 대안별로 모형의 성능지표가 유의할만한 차이를 보이지 않았다. 따라서, 비슷한

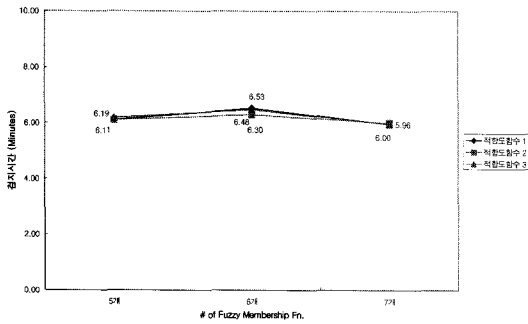
성능이라면 모형실행속도가 빠른 대안을 선택하는 것이 유리할 것으로 판단하였다. 퍼지추론엔진은 소속함수의 개수가 적을수록 실행속도가 빠르므로 소속함수의 개수가 가장 적은 대안 1, 4, 7을 우선 선별하고 이들 중에서 상대적으로 성능지표값이 우수한 대안 1(소속함수 개수 5개, 적합도함수 I)을 선정하였다.



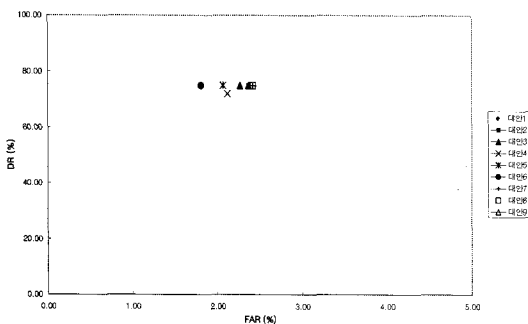
〈그림 19〉 검지율 (고속도로)



〈그림 20〉 오보율 (고속도로)



〈그림 21〉 검지시간 (고속도로)



〈그림 22〉 검지율 vs. 오보율 (고속도로)

최적대안(대안 1)에 대한 주요성능지표 분석하면, 검지율은 75%이며, 오보율은 0%, 검지시간은 6.1분을 기록했다. 검지율의 경우 v/c가 0.5이상인 경우에는 100%에 가까운 값을 보였다. 오보율은 고속도로의 경우 비교적 안정된 교통류의 검지기 데이터가 수집되므로 오보는 거의 없었으나, 돌발상황의 발생 또는 소멸로 인한 일시적인 혼잡 상황이 상·하류로 전파되어 오보가 발생되나, 돌발상황이 발생한 검지기의 상·하류 부상에 연속된 검지기를 연관 검지기로 설정하여 이러한 오류를 제거하였다.

검지시간은 교통량이 많을수록 돌발상황으로 인한 검지기의 반응이 신속하여, 검지시간이 단축되었다. 돌발상황발생 위치별로는 유입 Ramp의 상류부 본선구간에서 보다 하류부 본선구간에서 돌발상황발생 지점과 검지기간의 거리가 멀어서 검지시간이 길어진다.

돌발상황위치판단의 경우, 대부분의 시나리오의 경우 돌발상황위치를 정확히 판단하였으나, 유입 Ramp의 교통량이 매우 적은 상황에서는, 돌발상황이 Ramp 하류부의 본선구간에서 발생했을 경우 유입Ramp 검지기가 영향을 받지 않음으로 인해 Ramp 상류부의 본선구간에서 돌발상황이 발생한 것으로 오판할 수 있다.

고속도로의 경우 돌발상황위치판단은 본선의 상·하류부 검지기 사이에 유입 Ramp가 존재하는 경우에, 발생한 돌발상황위치가 유입 Ramp를 기준으로 상류부인지 하류부인지를 판단한 것이며, 판단기준은 유입 Ramp 검지기가 돌발상황으로 인해 영향을 받았는지 여부로 판단한다. 이러한 판단은 램프미터링시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 보인다.

돌발상황종결판단은 돌발상황이 발생한 것으로 검지된 시나리오 대다수의 경우 돌발상황이 무리없이 종결되었으며, 교통량의 증가에 따른 돌발상황으로 인한 혼잡이 심할수록 종결시간이 길어지나, 돌발상황이 검지된 후 종결되지 않은 것으로 판단한 경우는 교통량이 많아 모의주행 시간동안 돌발상황으로 인한 지체가 해소되지 않은 경우이다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존 알고리즘의 단점인 crisp한 임계값의 사용으로 인한 결과의 불연속성 문제를 퍼지이론을 활용하여 보완하고, 유전자 알고리즘을 활용하여 대상 도로 및 교통환경에 따라 매번 반복해서 임계값을 튜닝하여야 하는 문제를 보완하여 현장여건에 자가 적응이 가능한 돌발상황검지 알고리즘을 개발하였다. 또한, 기존의 유사모형들은 연속류 또는 단속류 중 하나를 대상으로 하는데 반해, 본 연구에서 개발된 알고리즘은 이를 통합하여 단일모형화함으로써 도로유형에 관계없이 사용할 수 있어 고속도로 및 시가지도로로 구성되는 교통축 단위의 교통관리 목적으로 사용이 용이하다는 장점이 있다.

개발된 돌발상황검지모형은 시뮬레이션과 일부 현장 데이터를 통해 성능을 Test한 결과 검지율, 오보율, 검지시간 등의 척도에서 기존 성능우수 모형과 대등한 성능을 나타내었다. 그러나, 본 모형의 성능은 유전자 알고리즘의 특성상 적응이력(학습기간, 데이터량)과 비례하여 향상될 것이므로 본 연구의 Test 결과만을 가지고 확정적 결론을 내릴 수는 없다.

본 연구의 초점이 기존 모형의 성능지표 자체의 향상보다는 다양한 도로유형에 공히 적용 가능한 동시에 자가 적응력을 갖도록 개선하는 실험적 시도에 있었던 만큼 연구는 소기의 성과를 거두었다고 판단되며, 향후 이 분야 연구가 지향해야 할 중요한 방향성 하나를 제시하였다고 생각된다.

본 연구를 통해 개발된 모형의 실용화를 위해서는 향후 이를 실제 교통관리시스템에 이식한 후 다양한 도로 및 교통환경하에서 장기간 누적된 자료를 바탕으로 한 자가 적응 능력 시험 및 성능실험을 거쳐야 할 것이다.

참고문헌

1. Ahmed, S.A. and A.R. Cook(1982). "Discrete Dynamic Models for Freeway Incident Detection Systems". *Transportation Planning and Technology*, Vol.7, pp.231~242.
2. Bell, M. G. H., and B. Thancanamootoo(1988). "Automatic Incident Detection Within Urban Traffic Control Systems". *Proceedings of International Road and Traffic Conference-Roads and Traffic 2000*, Vol.4:2, pp.35~38
3. Chen, C.-H., and G.-L. Chang(1993). "A Dynamic Real-Time Incident Detection System For Urban Arterials: System Architecture and Preliminary Results". *Proceedings of Pacific Rim TransTech Conference*, Vol.1, Seattle, Washington, pp.98~104.
4. Cheu, R.L., S.G. Ritchie, W.W. Recker, and B. Bavrian(1991). "Investigation of Neural Network Model for Freeway Incident Detection". *Program on Advanced Technology for the Highway*, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.
5. Elie Sanchez, Takanori Shibata, and Lotfi A. Zadeh(1997), "Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems", World Scientific.
6. Hall, F.L., Y. Shi, and G. Atala(1993). "On-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion". *Transportation Research Record 1394*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1~7.
7. Han, L.D., and A.D. May(1989). "Artificial Intelligence Approaches for Urban Network Incident Detection And Control". *Institute of Transportation Studies*, University of California, Berkeley, California.
8. Hoose, N., M.-A. Vicencio, and X. Zhang (1992). "Incident Detection in Urban Roads Using Computer Image Processing". *Traffic Engineering & Control*. Vol.33, No.4, pp.236~244.
9. Ivan, J.N., J.L. Schofer, C.R. Bhat, P.-C. Liu, F.S. Koppelman, and A. Rodriguez (1993). "Arterial Street Incident Detection Using Multiple Data Sources: Plans for ADVANCE". *Proceedings of Pacific Rim TransTech Conference*, Vol.1, Seattle, Washington, pp.429~435.
10. Kaan Ozbay, and Pushkin Kachroo(1999), "Incident Management in Intelligent Transportation Systems", Artech House.
11. Kevin N. Balke, P. E(1993), "An Evaluation of Existing Incident Detection Algorithms", *Research report 1232-20*, Texas Transportation Institute.
12. Khan, S.I., and S.G. Ritchie(May 1994). "Incident Detection on Surface Streets Using Artificial Neural Networks". *Proceedings of the Intl Conference on Advanced Technologies in Transportation and Traffic Management*, Singapore, pp.261~268.
13. Levin, M. and G.M. Krause(1978). "Incident Detection: A Bayesian Approach". *Transportation Research Record 682*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.52~58.
14. Sellam, S., A. Boulmakoul, and J.C. Pierrelee (1991). "A Distributed Real Time Knowledge-Based System Using Video Image Processing for Junctions Automatic Incident Detection". *Proceedings of the Second International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, New York, pp.351~356.
15. Stephanedes, Y.J., and A.P. Chassiakos (1993). "Smoothing Algorithms for Incident Detection". *Transportation Research Record*

- 1394, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.8~16.
16. Stephanedes, Y.J., and G. Vassilakis(1994). "Intersection Incident Detection for IVHS". Paper submitted to 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
 17. Zbigniew Michalewicz(1996), "Genetic Algorithms +Data Structures=Evolution Programs", Springer.
 18. 데이터사이언스(주)홈페이지 (http://datascience.co.kr/mining_how_gen.htm)
 19. Sibok Lee(1995), Fuzzy Logic Based Incident Detection for Paired Intersections, A doctoral dissertation, Texas A&M University.
 20. 채석·오영석(1997), "퍼지이론과 제어", 청문각.
 21. 장세봉(1997), "인공신경망을 이용한 고속도로 자동유고감지 모형의 개발", 박사학위논문, 서울대학교.
 22. 이영인·황준환(2001), "간선도로 돌발상황 검지기 법 개발연구", 대한교통학회지, 제19권 제2호, 대한교통학회, pp.73~87.
 23. 강진기(1994), "검지기 간격에 따른 돌발상황검지 알고리즘의 돌발상황검지시간 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교.
 24. 김영찬·임성만(2004), "도시고속도로 비혼잡상황에서의 자동 돌발상황 감지 알고리즘 개발", 대한토목학회지, 제24권 제2D호, 대한토목학회, pp.167~173.

♣ 주 작 성 자 : 이시복

♣ 논문투고일 : 2004. 4. 9

논문심사일 : 2004. 5. 31 (1차)

2004. 6. 28 (2차)

심사판정일 : 2004. 6. 28

♣ 반론접수기한 : 2004. 12. 31