

고속도로에서의 퍼지 유고 감지 시스템의 시물레이션

이 응기*, 김 인택**, 김 성호***

* 명지대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정

** 명지대학교 전기전자공학부 조교수

*** 한양대학교 교통공학과 조교수

Simulation of Fuzzy Incident Detection System in Freeway

Lee Eunggi, Kim Intaek, Kim Seongho

요 약

유고 감지 시스템은 검지기로부터 얻은 데이터를 분석하여 특정 구간의 유고 발생 여부를 판단하는 시스템으로 교통 관제의 측면에서 매우 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 속도, 밀도 그리고 교통량의 변화와 같은 다양한 유고 감지 변수를 어떻게 퍼지 시스템에 사용하는가를 보여주고 기존의 알고리즘이 안고 있던 문제점들을 해결하기 위한 퍼지 유고 감지 알고리즘을 제안한다. 또한 시물레이션을 통해서 제안된 퍼지 유고 알고리즘의 성능을 평가한다.

I. 서 론

유고는 비정상적인 교통류를 형성하여 일시적인 병목구간으로 인한 용량의 감소, 대기행렬 길이의 증가에 의한 차량 속도의 감소를 야기시키고, 이차적 사고를 유발할 수 있다. 특히 도로 용량이 크고 차량의 고속 주행이 일어나는 고속도로 상에서 유고는 교통류의 흐름에 큰 영향을 미쳐 막대한 경제적 환경적 피해를 초래한다. 따라서 유고 감지는 고속도로 또는 간선도로 관제에 매우 중요한 역할을 수행하며 그 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 많은 유고 감지 알고리즘들이 연구되어 왔다 (PATH).

일반적으로 퍼지 논리(Lee, 1990)는 불명확하고, 모호한 환경에서 지식의 표현이 가능하기 때문에 수학적 모델이 잘 알려지지 않았거나 수학적으로 표현하기 어려웠던 시스템에 적용이 가능하다. 이러

한 퍼지이론의 특성은 흐름의 변화가 일정치 않고 다양한 교통류의 변화 상에서 유고 상황을 감지하는데는 몇 가지 장점을 가질 수 있다. 즉 유고 상황에 대한 임계값이 불필요하고, 멤버함수의 조정을 통하여 감지율과 오보율의 조절이 용이하며, 전문가의 know-how를 그대로 반영할 수 있다. 또한 현장에서의 학습도 가능하므로 적응성과 강건성이 기존의 알고리즘에 비해 상당히 우수하다. 특히 기존의 알고리즘을 대표하는 California 알고리즘(이의인, 1995), McMaster 알고리즘(PATH, 이의인, 1995) 등에서 제기된 임계치의 문제를 해결해 줄 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 제 2절에서는 유고와 정상 상태의 특성을 추출하기 위해 FRESIM을 이용하여 데이터를 분석하였으며, 제 3절에서는 앞 절에서 도출된 특성을 이용하여 퍼지 유고 감지

시스템을 설계하였다. 유고 감지의 실행 및 결과물 제 4절에 설명하였으며 마지막으로 결론 및 향후 과제를 서술한다.

II. 데이터 분석에 의한 유고와 정상의 특성 추출

1. 데이터의 생성

유고 감지 알고리즘을 구성하기 위해서는 유고 상황에 대한 학습이 전제되어야 한다. 이러한 학습은 실제 도로 상에 설치된 검지기로부터 데이터를 읽어 정상 상태와 유고 상태를 구분하여 학습되는 것이 가장 바람직하지만, 이러한 과정을 거쳐 데이터를 수집하는 것은 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 시물레이션을 통해 정상 및 유고 상태를 발생시켜 필요한 데이터를 얻었다.

유고 시물레이션은 FRESIM을 이용하여 그림 1의 3차선 고속도로 본선 구간을 설정하였다. 교통의 진행방향은 좌측에서 우측이다. 시물레이션에 사용된 시간주기는 60초이고 시물레이션 시간은 19주기(16 : 30~16 : 49)동안이다. 교통량은 7단계로 설정하여 각 단계사이의 간격이 500(veh/hr)이 되도록 설정하였으며 최저 교통량은 1333(veh/hr/lane), 최고 교통량은 2333(veh/hr/lane)이며 트럭의 비율은 3~5%로 설정하였다.

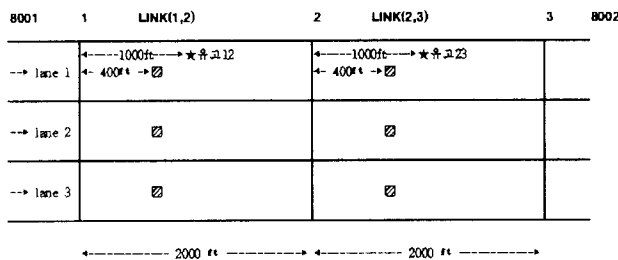


그림 1 시물레이션의 기하학적 구조 (geometric structure)

유고의 발생은 그림에서 보는 것과 같이 link의 가운데에서 일어나며 시물레이션이 시작되고 6 주기(period) 후에 발생하여 5 주기동안 계속된다. 즉 7~11 주기가 유고 구간이다. 사고의 종류는 lane 1에서 발생하는 1 lane blockage incident이다.

2. 데이터의 유용성

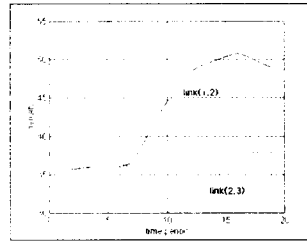


그림 2 link(1,2)에서 사고시 밀도의 변화

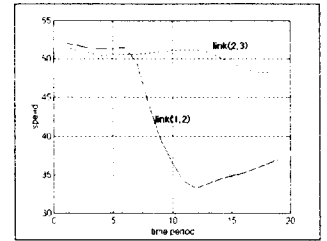


그림 3 link(1,2)에서 사고시 속도의 변화

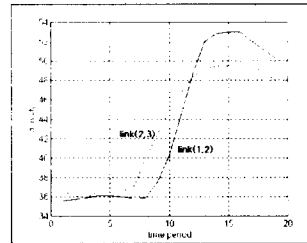


그림 4 link(2,3)에서 사고시 밀도의 변화

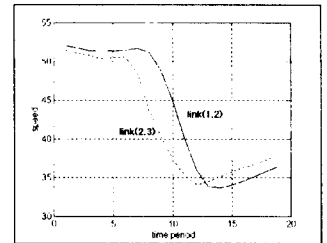


그림 5 link(2,3)에서 사고시 속도의 변화

시물레이션에 의해 발생된 유고 데이터를 시간의 흐름에 따라 도시해 보면 위의 그림 2 ~ 그림 5와 같다. 위의 그림에서 살펴볼 수 있듯이 각 link에서의 유고가 일어날 때, 밀도와 속도는 급격하게 변화한다. 유고 발생 위치에 따라 변화하는 모양도 다르다. 그림 2와 그림 3은 유고의 발생이 link(1,2)와 link(2,3)내의 두 검지기 사이에서 일어나는 경우이다. link(1,2)의 밀도가 증가하고 속도가 감소하는 반면 link(2,3)의 밀도는 반대로 감소하고 속도는 거의 변화가 없다. 그림 4와 그림 5의 유고는 link(2,3)에 존재하는 검지기의 상류부에서 발생하기 때문에 다른 형태의 교통류 변화를 보여준다. link(1,2)의 밀도와 속도는 각각 link(2,3)의 밀도와 속도와 시간 지연(time delay)을 가지고 비슷하게 변화된다.

3. 유고 판정을 위한 입력 데이터의 정의

앞에서는 교통 변수들의 변화로부터 교통류의 정성적인 분석을 하였는데, 이 절에서는 그 변수들의 차이의 변화로부터 유고 판정에 필요한 특징을 아래의 그림 6에서 그림 9에 걸쳐 살펴본다.

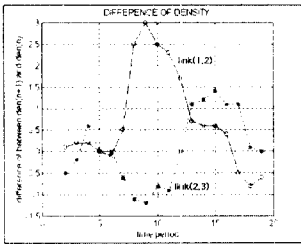


그림 6 link(1,2)에서 사고 발생시 밀도변화량

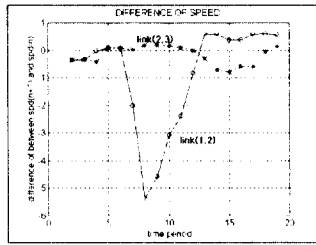


그림 7 link(1,2)에서 사고 발생시 속도변화량

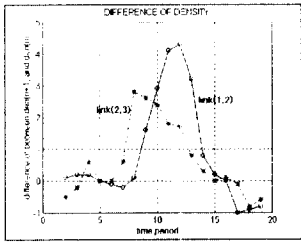


그림 8 link(2,3)에서 사고 발생시 밀도변화량

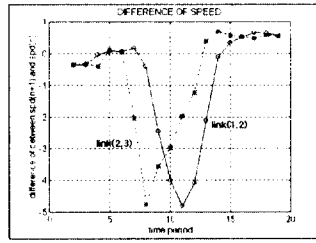


그림 9 link(2,3)에서 사고 발생시 속도변화량

위의 데이터 값은 한 주기 간의 값들의 차이 $(X(n+1)-X(n))$ 를 표현한 것이며 이는 시스템의 입력으로 사용된다. 이와 같이 밀도의 차이 또는 속도의 차이를 사용하는 이유는 위의 그림 6에서 그림 9까지에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 정상적인 상태에서의 이탈이 쉽게 표현될 수 있기 때문이다.

III. 퍼지 유고 감지 시스템의 설계

1. 입력 및 출력 변수의 설정

퍼지 유고 감지 시스템의 입력은 앞서 정의한

$$Z(n) = X(n+1) - X(n)$$

으로 표현할 수 있다. 여기서 $X(n)$ 은 밀도 또는 속도, n 은 시간이다. 입력변수들의 퍼지 멤버십 함수의 설정은 $Z(n)$ 을 양수영역, 음수영역, 0의 영역의 세 가지로 나누었으며 그림 10과 같이 사다리꼴 모양으로 가진다.

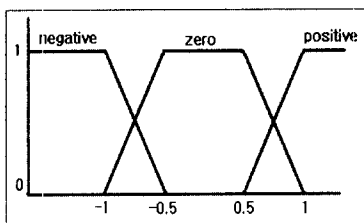


그림 10 입력함수의 멤버십 함수

출력 변수는 일반적인 유고감지 알고리즘들이 유

고와 정상인 이진 형태의 결과를 도출하지만 본 연구에서는 퍼지 알고리즘의 특징 중 하나인 다양한 의사결정의 특성을 살리기 위해 “link(1,2)에서의 사고 발생”, “link(2,3)에서의 사고 발생”, “정상상태”의 3가지 출력변수를 설정하였다.

2. 퍼지 규칙의 생성

유고 상황일 경우에 각 변수들의 특징적 변화는 그림 6에서 그림 9에 걸쳐 아래와 같은 규칙을 발견할 수 있다. 각 변수의 언어적인 값(linguistic value)은 주어진 도로환경과 교통량 등에 따라 적절히 조절되어야 한다. 즉 환경이 다른 두 개의 도로에서 같은 밀도의 증가라도 서로 같지 않을 수 있다.

가. link(1,2)의 사고 (그림 6, 그림 7)

- link(1,2)의 밀도 증가, 속도 감소
- link(2,3)의 밀도 감소 또는 유지, 속도 증가 또는 유지

나. link(2,3)의 사고 (그림 8, 그림 9)

- link(1,2)의 밀도 증가 또는 유지, 속도 감소 또는 유지
- link(2,3)의 밀도 증가, 속도 감소

다. 퍼지 규칙

위의 특성을 바탕으로 IF ~ THEN형식의 퍼지 규칙을 생성시킬 수 있으며 그 일부는 다음과 같다.

IF diff_density(1,2) is *positive* and diff_density(2,3) is *negative*
and diff_speed(1,2) is *negative* and diff_speed(2,3) is *positive*

THEN *incident occurs* at link(1,2)

IF diff_density(1,2) is *positive* and diff_density(2,3) is *negative*

and diff_speed(1,2) is *negative* and diff_speed(2,3) is *zero*

THEN *incident occurs* at link(1,2)

⋮

IV. 유고 감지의 실행 및 결과

1. 퍼지 유고 감지 시스템의 블럭선도

한국시물레이션학회 '98춘계 학술대회 논문집 1998.5.2. 세종대학교 1666~2000에는 K를 0.9로, 마지막으로 큰 값인 2000이상에서는 K를 1.2로 적용하였다. 여기서 이러한 K값은 퍼지 입력, 즉 전건부의 한 입력으로 고려하여 퍼지 규칙에 포함시킬 수 있다. 그러나 이러한 시도는 다음 기회에 미루고 본 연구에서는 K값의 설정은 시행착오를 통해 얻었다.

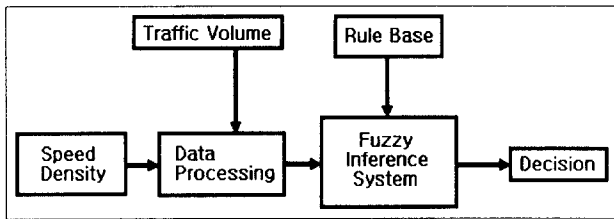


그림 11 퍼지 유고 감지 시스템의 블록선도

그림 11은 대략적인 퍼지 유고 감지 시스템의 블록선도를 보여준다. 속도와 밀도는 데이터 처리 과정을 거쳐 차이 값으로 변환되어 퍼지 추론 시스템으로 입력된다. 보다 효과적인 성능의 유고 감지 시스템을 구성하기 위해서, 데이터 처리 과정에서 교통량(traffic volume)을 반영하여 퍼지 추론 시스템의 최종적인 입력이 형성한다. 규칙 베이스(rule base)는 앞에서 설명한 퍼지 규칙들의 집합을 의미한다. 따라서 퍼지 추론 시스템에 입력되는 밀도와 속도의 차이들이 규칙 베이스 내에서 가장 가까운 전건부에 해당되는 규칙의 후건부를 발생한다. 여기서 후건부는 link(1,2)의 유고, link(2,3)의 유고, 정상 등의 값을 가진다.

2. 교통량의 변화에 따른 입력값의 설정

유고 감지를 위해서는 교통량의 변화에 주목할 필요가 있다. 일반적으로 교통량에 따라서 속도 및 밀도의 변화량 및 변화곡선이 다르게 나타난다. 그러므로 정확한 유고 감지를 위해서 이러한 변화량 및 변화곡선을 비슷한 크기로 일치시키는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 변화량의 크기를 일치시켜주기 위해서 입력되는 차이값 앞에 가중치 K를 곱하였다. 따라서 퍼지 추론 시스템에 주어지는 입력 Z(n)은

$$Z(n) = K(X(n+1) - X(n))$$

이다.

3. 시물레이션의 결과

다음에 제시할 시물레이션 결과는 K의 값을 3단계로 구분하여 적용하였다. 적은 교통량 즉 1666(veh/hr/lane)미만일 때는 K를 1.7로, 중간의 값

- 각 유고상황별 교통량 (단위 vehicles/hr/lane)

- incident #0 = 1333~1400
- incident #1 = 1500~1566
- incident #2 = 1666~1733
- incident #3 = 1833~1900
- incident #4 = 2000~2066
- incident #5 = 2166~2233
- incident #6 = 2333~2400

가. link(1,2)에서 유고 상황이 발생한 경우의 시물레이션

표 1 LINK(1,2)에서 유고 상황 발생시 시물레이션 결과

time period	incident #0	incident #1	incident #2	incident #3	incident #4	incident #5	incident #6
1	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
2	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
3	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
4	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
5	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
6*	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
7*	normal	normal	normal	normal	normal	inc 12	normal
8*	normal	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12
9*	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12
10*	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12
11	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12
12	inc 12	inc 12	inc 12	normal	normal	normal	normal
13	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
14	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
15	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
16	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
17	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
18	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
19	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal

표 1은 19 주기 동안의 시물레이션 결과를 보여준다. 유고의 발생은 주기 6에서 주기 10까지 진행되며 표 1에서는 주기 값에 *표시를 하였다. 표 1을 살펴보면 주기 6에 유고가 발생되지만, 퍼지 유고 감지 시스템에 의한 유고의 감지는 주기 7에서 주기 9에 걸쳐 일어난다.

특히 교통량이 적은 incident #0에서 가장 지연된 유고의 감지가 발생하였으며, incident #5에서는 1주기 후에 유고가 감지되어 가장 빠른 성능을 보여준다. 유고 감지를 빠르게 하기 위해서 시스템의 감도를 예민하게 설계할 수 있으나 이러한 경우 반대로 오경보(false alarm)율의 증가를 가져오므로 최적

의 감도의 설정은 오경보율과 감지율 사이에 trade off이 요구된다.

나. link(2,3)에서 유고 상황이 발생한 경우의 시물레이션

표 2 LINK(2,3)에서 유고 상황 발생시 시물레이션 결과

time period	incident #0	incident #1	incident #2	incident #3	incident #4	incident #5	incident #6
1	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
2	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
3	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
4	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
5	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
6*	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
7*	normal	normal	normal	normal	inc 23	normal	inc 23
8*	normal	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23
9*	normal	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23
10*	normal	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23
11	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23
12	inc 23	inc 23	inc 23	inc 23	normal	inc 23	inc 23
13	normal	normal	normal	inc 12	inc 12	inc 12	inc 12
14	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
15	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
16	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
17	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
18	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal
19	normal	normal	normal	normal	normal	normal	normal

link(2,3)에서 유고는 앞의 예와 마찬가지로 주기 6에서 주기 10까지 발생한다. 유고의 감지는 모든 경우에 일어났으나 교통량이 적은 경우(incident #0)는 감지 시간이 매우 느리다는 것을 알 수 있다. 또 하나의 특이한 점은 교통량이 많을 때(incident #3, #4, #5, #6)에서는 정상 상태로 복귀하는 과정에서 link(1,2)에서 유고가 발생한 것으로 판단하는 오류를 보여준다(주기 13에서 진하게 표시한 부분).

V. 결론

본 논문에서는 퍼지 논리를 사용한 유고 알고리즘의 구성을 논의하였다. 유고 알고리즘을 구성하기 위해 실제의 데이터를 얻을 수 없었기 때문에 대안으로 FRESIM을 사용하여 시물레이션에 필요한 데이터를 발생시켰다.

데이터의 타당성을 살펴보기 위해 각 link에서 유고가 발생했을 때의 밀도와 속도를 관찰하였으며, 유고의 판단이 되는 변수를 밀도, 속도, 교통량 등으로부터 얻은 밀도차이, 속도차이를 사용하였다. 교통량도 퍼지 추론 시스템의 입력으로 사용되기 전에

데이터 처리 과정에서 고려된다.

본 연구에서 사용된 퍼지 유고 감지 시스템은 앞서 말한 밀도차이, 속도차이를 입력으로 하고, 유고 상황에서 얻은 특징적인 변화를 표현한 퍼지 규칙을 규칙 베이스로 사용하였다.

유고 감지 실행 결과, 표 1과 표 2에서 살펴볼 수 있듯이 퍼지 유고 감지 시스템은 유고 상황을 비교적 정확히 인식할 수 있었다. 그러나 유고 상황의 시점을 판정하는데는 1~3주기 후에 이루어졌으며, 유고 상황의 종료에도 약 1~3 주기 후에야 정상 상태를 알려주고 있다. 이는 시물레이션을 실행하는 주기의 크기에서 기인하는 것으로 주기를 적게하면 실시간 감지가 가능하다. 그러나 실시간 감지에는 오경보율의 증가가 발생할 수 있다. 따라서 최소의 오경보율, 최대의 유고 감지율, 그리고 최소의 유고 감지 시간 등 최적화를 위한 감지 주기의 결정은 매우 중요한 과제로 남아있다.

참고 문헌

1. C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller : Part I, Part II", *IEEE Trans. on Syst., Man., and Cyb.*, Vol.20, No.2, 1990 pp 404-435
2. PATH, "Automatic Incident Detection Algorithms", Internet site <http://pelican.its.berkeley.edu/PATH/dss/INCDET/aida.html>
3. 이의인, "고속도로 교통류의 특성 분석과 그 응용에 관한 연구", 박사학위 논문, 서울대학교, 1995
4. 채석, 오영석, "퍼지 이론과 제어", 청문각, pp. 253-290