

# Dempster-Shafer 이론을 이용한 지능형 Computer Telephony Integration

이동규, 한경숙  
인하대학교 자동화공학과  
e-mail: dongkyu@automation.inha.ac.kr

Intelligent Computer Telephony Integration using Dempster-Shafer theory

Dongkyu Lee, Kyungsook Han  
Department of Automation Engineering, Inha University

## 요약

본 논문은 현재 개발되고 있는 원격 중환자 관찰 시스템의 부 시스템인 호출 시스템의 호출 매체 결정 알고리즘에 대하여 기술한다. 이 호출 시스템은 중환자실에 입원중인 환자의 상태 변화에 따라 담당 의사나 환자 보호자를 신속하게 연락하는 역할을 담당한다. 전달되는 메시지는 연락 시점과 연락의 긴급성에 따라서 유선전화, 무선전화, 호출기, 전자우편, fax 등의 통신 매체를 한 개 또는 두 개 이상 이용하여 전달된다. 이러한 메시지의 효율적인 전달을 위하여 본 연구에서는 불확실성 추론 방법인 Dempster-Shafer 이론을 이용하여 주어진 상황에서 가장 효과적인 전달 매체를 선택하는 알고리즘을 개발하였다. Dempster-Shafer 이론을 사용함으로써, 불확실한 상황에서 효율적이고 합리적으로 메시지 전달 매체를 결정할 수 있다.

## 1. 서론

원격 중환자 관찰 시스템의 일차적인 목적은, 보호자 대기실 거주나 면회를 위한 병원 방문이 어려운 보호자들이 집이나 직장에서 인터넷을 이용하여 환자의 모습을 실시간으로 볼 수 있게 하는 것이다. 물론 담당 의료진도 외국이나 집에서 환자를 관찰할 수 있고, 처치 명령을 입력할 수도 있다. 원격 중환자 관찰 시스템의 또 다른 목적은, 환자의 상태 변화에 따라서 담당 의료진이나 보호자를 신속하게 호출하는 것이다 [1].

중환자 관찰 시스템의 부 시스템인 호출 시스템은 중환자실에서 상주중인 간호사나 의사에 의해서 운영되어지는데, 응급상황 발생시 필요한 메시지들을 담당의료진이나 환자보호자에게 전달하는 호출 기능과 평상시 환자의 치료에 필요한 조치나 전달사

항들을 환자 보호자에게 알리는 기능을 수행한다.

이러한 호출 시스템을 별도로 구현한 것은, 긴급한 호출이 필요한 경우 환자 보호자나 담당 의사를 연결하기 위하여 여러 번의 호출을 계속적으로 시도해야 하는 불편함과 시간의 허비를 줄이고, 즉각적인 처치를 가능하도록 하기 위해서이다. 또한 평상시의 전달 사항을 환자 보호자들에게 알리는 경우에도 효과적인 관리를 가능하게 함으로써 불필요한 노력의 낭비를 줄일 수 있기 때문이다.

중환자 관찰 시스템의 호출 시스템은 호출 기능 및 메시지 전달 기능을 효율적으로 수행하기 위해서 실시간을 보장할 수 있는 신속한 통신과 통신의 안정성을 보장할 수 있는 방법으로 호출을 시도한다. 이 때 호출 대상자가 일반인인 것을 감안하여 보편적인 통신수단을 이용하여 메시지를 전송할 수 있어

야 하고 운영자 입장에서든 쉽게 사용할 수 있는 환경을 갖추어야 한다. 한편, 실제로 호출을 수행할 때에는 호출을 수행하는 시간과 호출 메시지, 호출 대상자에 따라서, 불확실한 요인들을 갖고 있다. 즉 메시지의 종류에 따라서는 긴급한 메시지와 그렇지 않은 메시지를 구분해야 한다. 또 호출 대상자에 따라서 보유하고 있는 전달 매체가 달라지며, 일반 환자 보호자와 의료진의 경우, 그 종류가 틀려질 수 있다. 그리고 호출하는 시점에 따라서, 호출 대상자에게 사용가능한 매체가 틀려질 수도 있다. 이외에도 보편적인 통화 매체는 통화 실패의 가능성을 언제나 포함하고 있다.

현실 세계의 불확실성을 해결하기 위해서 제안된 여러가지 기법 중에서 확률을 사용하는 방법이 있는데, 이는 전통적인 Bayesian 이론과 이를 개선한 Dempster-Shafer 이론으로 나뉘어진다. Bayesian 이론은 사전적 확률이 정의된 경우, 유용하게 사용되어질 수 있으나, 본 시스템의 경우에는 이러한 확률을 명확하게 정의하기가 쉽지 않다. 그리고 여러 통신 매체로 통화를 시도하는 것이 가능하므로, 본 시스템에는 Dempster-Shafer 이론의 집합 개념을 사용하는 것이 유효하다.

본 논문에서는 중환자 관찰 호출 시스템에서 주어진 시간에 전달할 메시지, 그리고 호출 대상자에 따라서 가장 효과적으로 메시지를 전달할 수 있는 호출 매체를 결정하는 알고리즘에 대하여 논한다. 제안한 알고리즘은, 불확실성과 모호성이 존재하는 현실 상황에서 효율적인 추론을 위해 확률을 이용하는 Dempster-Shafer 이론을 사용한다 [2, 3, 4]. 또한 호출 결과에 대한 기록을 통계 자료로 활용하고, 이를 Dempster-Shafer 이론에 적용하기 위해 호출 에이전트를 사용하여 학습 기능을 수행한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 메시지 전달 기능을 수행하는 지능형 CTI (Computer Telephony Integration) 시스템과, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 Dempster-Shafer 시뮬레이터를 개발하고, 이를 이용하여 시험을 수행하였다.

## 2. 호출 시스템의 설계 및 구현

### 2.1. 시스템 구성

본 연구에서 개발한 호출 시스템의 구성은 크게 다음의 그림 1과 같다.

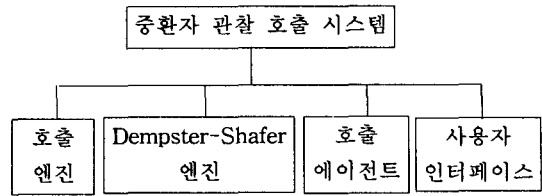


그림 1. 호출 시스템의 구성

호출 엔진은 실제로 메시지를 전달하는 기능을 수행하는 CTI 부분으로 호출 대상자가 일반인과 의료진인 점을 감안하여, 통상적인 호출 매체를 사용할 수 있도록 하였다. 일반인의 경우에는 일반 전화와 핸드폰, 그리고 팩스나 전자우편을 사용하여 메시지를 전달한다. 의료진의 경우는 일반인이 사용하는 매체 외에 무선 호출기를 사용하여 메시지를 전달할 수 있도록 하였다. 일반 전화의 경우에는 메시지를 미리 저장한 음성 파일을 만들어서 통화가 연결되었을 경우, 이를 재생하도록 하여 메시지를 전달한다. 팩스의 경우에는 텍스트 형식의 파일을 저장하여 이를 팩스 형식으로 발송하고, 전자우편의 경우에는 메시지에 해당되는 텍스트를 발송한다.

Dempster-Shafer 엔진은 주어진 시간과 메시지, 호출 대상자에 대하여, 불확실성과 모호성을 포함하여 가장 효과적인 전달 매체를 결정하는 부분으로 Dempster-Shafer 이론을 구현한 부분이다. 이 엔진은 크게 두 가지 Evidence에 의한 확률을 결합하여, 각 가설에 대한 신뢰 구간을 계산하는 역할을 수행한다.

호출 에이전트는 Dempster-Shafer 엔진에 학습 기능을 부여하여 시스템의 최적화를 수행하는 부분이다. 에이전트는 호출이 수행될 때마다 그 결과를 기록하고, 이를 통계 자료로 저장한다. 저장된 통계 자료는 Dempster-Shafer 엔진의 확률값을 재조정하는 역할을 수행한다. 이러한 학습 기능을 통하여 호출 시스템의 전달 매체 선택의 최적화를 수행한다.

사용자 인터페이스는 윈도우즈 환경에서 사용자가 시스템을 사용하기 쉽도록 지원하고, 호출 대상자의 명단 및 연락처를 데이터베이스에 입력하거나 편집하는 기능을 수행한다.

### 2.2 호출 알고리즘

본 호출 시스템에서 메시지를 전달하는 대상자는 크게 환자 보호자와 의료진으로 구분되어지며 의료진의 경우, 대학병원을 기준으로 하여 다시 담당 교

수와 인턴 및 레지던트를 포함한 일반 의료진으로 구분될 수 있다. 이들 각 호출 대상자에 대하여 전달할 메시지와 호출 시간을 구분하고, 각각의 호출 매체에 대하여 기본 확률을 부여함으로써 Dempster-Shafer 이론을 사용한다.

먼저, Dempster-Shafer 이론을 적용하기 위하여 전체 집합을 다음과 같이 정의하였다.

$U = \{Home, Office, Cellular\_Phone, Second\_Home(pager)\}$

Home: 호출 대상자의 집

Office: 호출 대상자의 사무실

Cellular\_Phone: 호출 대상자의 핸드폰

Second\_Home: 제2 보호자의 집, 의료진의 경우 호출기

그리고, 호출 시간을 구분하여서 다음과 같은 확률을 정의하였다. 이 때 입력되는 확률값은 U의 각 부분집합에 대하여 할당된다.

$m_0(\{U\})$ : 담당 교수 강의 시간의 각 매체에 대한 통화확률

$m_1(\{U\})$ : 평일근무시간의 각 매체에 대한 통화확률

$m_2(\{U\})$ : 평일 근무외시간의 각 매체에 대한 통화확률

$m_3(\{U\})$ : 수면시간 아닌 휴일의 각 매체에 대한 통화확률

$m_4(\{U\})$ : 수면시간의 각 매체에 대한 통화 확률

$m_5(\{U\})$ : 기본 확률

$m_6(\{U\})$ : 매체의 유무를 반영한 통화 확률

$m_7(\{U\})$ : 통화 기록의 통계값을 적용한 통화 확률

$$\sum m_i(\{U\}) = 1 \quad (i=0..7) \quad (\text{수식 1})$$

최종적으로 호출 매체를 결정하기 위하여 사용하는 확률값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_i \oplus m_j(\{U\}) \quad (i=0..4, j=5..7)$$

( $\oplus$ )는 Dempster-Shafer 이론의 Evidence 결합계산)

위의 식에서  $m_5(\{U\})$ 는 최초의 통화 시도에서 호출 매체를 선택하는 계산을 위한 기본 확률값이다. 본 논문에서는 U의 부분집합 중, 원소의 개수가 3개

이하인 부분집합을 대상으로 각 집합의 확률을 계산한다. 이는 호출 엔진에서 호출 시도횟수를 3번으로 사용하고 있기 때문이다. 기본 확률값은 U의 각 부분집합에 대하여 균등하게 확률을 분배하여, 각 시간별로 앞에서 설정한 확률값 ( $m_0..m_4$ )이 매체를 선택하는 데 영향을 미치게 된다.  $m_6(\{U\})$ 는 호출 대상자에 따라 통화 매체 중 사용하지 않는 것이 있을 경우, 이를 반영하여 기본 확률값 ( $m_5$ )을 변경한 것이다. 이 때 사용하지 않는 매체의 확률값은 0으로 변경된다. 사용하지 않는 매체를 포함하는 U의 부분집합은, 집합 원소의 개수 N ( $N \geq 2$ )에 따라서  $m_5(\{U\})/N$  값으로 확률값이 변경된다. 그리고, 식 (1)을 만족시키기 위하여, 감소된 확률값을 같은 개수의 원소를 갖는 다른 부분 집합의 확률값에 배분하여 합한다.

$m_7(\{U\})$ 는 통화 매체의 유무를 반영한 확률값에 다시 각 매체에 대한 통화 기록을 반영한 확률값으로, 최종 계산에 사용되는 확률값이다. 해당 매체의 통화기록이 있는 경우, 전체 시도횟수와 성공횟수를 이용하여 원래 확률값을 변경한다. 통화기록이 있는 매체가 포함된 집합의 확률값은 원래의 확률값에 성공횟수/(시도횟수\*원소의 개수) 값을 곱하여 확률값을 변동한다. 그리고 이 때 감소된 값은 같은 원소 개수를 갖는 다른 부분집합에 합해지게 된다.

호출 매체를 결정하기 위해서, 주어진 호출시간에 따라서 정해지는 확률값과 호출 매체 및 통화기록에 의해 정해진 확률값을 Dempster-Shafer 이론을 적용하여 결합하고, 계산된 확률값 중에서 신뢰도가 가장 높은 매체를 우선 매체로 선택한다. 이 결합 과정 중에는 정규화(Normalization) 과정이 포함된다.

최초의 호출은 호출 시간에 따라 사전에 정해진 매체의 확률값과 매체 적용 확률값을 이용하여 시도되어진다. 그리고 발생한 호출에 대한 결과는 데이터베이스에 저장되어지고, 이를 통계자료로 활용한다. 이 작업은 에이전트에 의해 수행되어지며, 결국 각 매체에 대한 최적의 확률값을 반영하게 된다. 최초의 호출 후에는 통계자료가 반영된 확률값을 이용하여 각 매체에 대한 통화 확률값을 다시 계산하여 저장하고, 그 결과는 다시 통계자료로 사용된다. 이러한 과정을 반복함으로써 각 시간대와 매체에 적합한 최적의 확률값을 구할 수 있다.

### 3. 호출 시스템 구현 및 알고리즘 적용 예

본 연구에서는 위와 같은 호출 알고리즘을 적용하여 호출 엔진과, Dempster-Shafer 엔진, 그리고 호출 에이전트를 윈도우즈 98 환경의 Pentium II급 PC에서 구현하였다. 호출 엔진을 개발하기 위하여 일반 음성모뎀과 TAPI 컴포넌트인 TurboPower사의 AsyncPro를 사용하였으며 소프트웨어 개발도구로는 C++ Builder 4.0을 사용하였다.

음성모뎀을 장착한 PC 환경에서 운용되는 호출 시스템에서 일반전화, 팩스, 전자우편, 무선 호출기, 핸드폰에 대한 메시지 전달 기능을 시험했으며, 그 결과로 모든 매체에 대하여 메시지 전달 기능을 확인하였다. 그리고, 제안한 알고리즘을 시험하기 위하여 Dempster-Shafer 엔진과 호출 에이전트를 포함하는 시뮬레이터를 개발하였고, 이를 이용하여 알고리즘의 성능을 확인하였다. Dempster-Shafer 시뮬레이터를 아래의 그림에 나타내었고, 시뮬레이터를 이용하여 시험한 알고리즘의 적용 예를 표 1에 나타내었다.

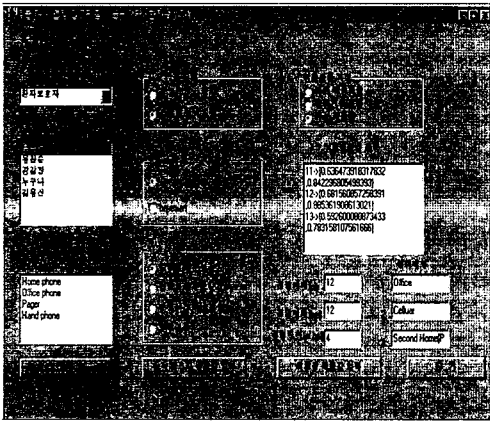


그림 2. Dempster-Shafer 시뮬레이터

표 1. 알고리즘을 적용한 예

호출 대상	호출 시간	적용확률	선택결과	비고
환자 보호자	평일	기본확률	O, C, S	[0.682, 0.885]
		매체적용	C, S, H	O가 없을 때
	근무시간	매체적용	S, H	O, C가 없을 때
		통화결과	H, S	S의 성공확률=1/3

H: Home, O: 사무실, C: 핸드폰, S: 제2보호자 집

표 1의 결과는 환자 보호자를 대상으로 하여 환자의 검사결과가 나왔음을 통보하기 위하여, 평일의

근무시간 (오전 9시-오후 6시)에 호출을 시도한 예를 나타내고 있다. 기본 확률값을 이용하여 호출한 결과와 호출 대상자가 사무실, 핸드폰을 갖고 있지 않은 경우, 제 2 보호자의 집으로 통화를 3번 시도하여 1번 실패한 기록을 갖고 있는 경우에 대해서 각각 선택된 매체를 나타낸다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 중환자 관찰 시스템의 호출 시스템에서 환자 보호자와 의료진을 효율적으로 호출하기 위하여 인공지능 분야에서 사용하는 추론방법 중의 하나인 Dempster-Shafer 이론을 적용하였다. 확률적 추론을 이용하는 Dempster-Shafer 이론과 학습기능을 적용함으로써 여러 명의 호출 대상자와 메시지, 또 호출시간에 따라 달라지는 메시지 전달의 불확실성을 보완하여 메시지 전달 기능을 효율적으로 수행하는 것을 확인하였다. 불확실성이 존재하는 실제 환경에서 이와 같은 방식으로 확률이론을 적용한다면, 효율적인 의사결정을 수행할 수 있다.

앞으로의 연구방향으로는 학습 알고리즘을 개선하기 위하여 여러 번의 시험을 반복해야 할 것이다. 시스템의 개발은 아직 진행 중이므로, 호출 알고리즘을 개선하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다. 또한 호출 시스템의 실용화를 위해서는 실제 병원에서 시험을 수행함으로써, 시스템의 문제점들을 제거하고 개선하는 작업을 병행해야 할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 1999년도 정보통신부 정보통신우수대학원 지원사업에 의거 1999년도 교내 연구비로 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] 이동규, 한경숙 "원격 중환자 관찰 시스템을 위한 지능형 CTI," 한국 정보처리학회 추계학술 대회, 1999. 10.
- [2] 이계성, "불확실성 처리를 위한 효율적 Dempster-Shafer 증거 병합 방법," 한국정보처리학회 논문지 제 3권 제 4호, 1996. 7.
- [3] 이종만, 김진형, "Dempster-Shafer 이론을 이용한 징후 결합 방법," 한국정보과학회 논문지, Vol. 15, No. 1, 1988.2.
- [4] Glenn Shafer, "A Mathematical Theory of Evidence," Princeton University Press, 1976.