論文97-34C-6-10

퍼지 규칙 생성에 의한 교환 시스템의 과부하 상태 검출

(Overload Detection in Switching Systems using Fuzzy Rules)

朱 成 淳 *, 李 定 勳 **

(Seong-Soon Joo and Chung-Hoon Rhee)

요 약

새로운 통신서비스의 출현과 통신망 환경의 변화에 따라 과부하로부터 교환 시스템을 안정적이며 경제적으로 운용해야 할 필요성이 더욱 커지고 있다. 그러나, 효율적인 교환 시스템 과부하 제어를 위하여 짧은 기간 동안의 부하 상태를 정확히 표현할 수 있는 입출력 파라미터를 결정하는 것은 어려운 문제이다. 이 논문에서는 교환 시스템의 부하를 정상상태, 과부하 이전 상태, 과부하 상태로 구분하는 모델을 제안하고, 부하 상태 검출 문제를 상태 파라미터로부터 부하 세 클래스를 식별하는 문제로 구성한다. 임의의 상태 파라미터를 입력으로 갖고, 부하 상태의 클래스를 출력으로 갖는 계층적 퍼지 합성 네트워크에 의하여 시험 데이터로부터 퍼지 규칙을 자동으로 생성하는 알고리즘을 제시한다. 교환기 시뮬레이션 모델을 사용하여 제안된 과부하 검출 방식이 부하 클래스를 검출하기에 적합한 상태 파라미터 집합을 결정하고, 상태 파라미터와 부하 클래스간 연관 관계를 나타낼 수 있음을 보인다.

Abstract

New technologies, systems, and services in telecommunication have increased the need for an efficient and robust control mechanism to protect switching systems from overload. To achieve proper control, it is necessary to find a set of parameters that can describe the system. However, it is difficult to find types of data that can form a suitable basis for control. In this paper, we categorize the load status of a switching system into three classes (i.e., normal state, pre-overload state, and overload state) and formulate the overload detection as a classification problem. We find the relationships between the load classes and a set of monitored switching system parameters by applying a fuzzy rule-generation method. The rules are automatically generated from training data. Simulation results involving a switching system is given.

Ⅰ. 서 론

예상치 못했던 사회적 사건이나 천재지변이 발생할 경우 교환 시스템의 호 시도 수 (call attempts)는 평균 트래픽의 2~3배로 폭증하여 수 분에서 한 시간에 이르기 까지 지속된다. 이러한 현상은 교환 시스템을 과부하 상태로 만들게 되며, 완료되지 못한 호가 재시도 되어 현상을 더욱 악화시키고, 과부하 제어 기능이 없는 경우 호 완료율이 급속히 떨어지게 된다.

지난 20여년 동안 교환 시스템의 과부하 제어에 대해 많은 연구가 수행되어왔는데, 주로 과부하의 정적 (stationary) 현상에 대한 이론적 접근과 특정 시스템을 대상으로 프로세서의 부하 상태, 입력 호 트래픽,

* 正會員, 韓國電子通信硏究院
(Electronics and Telecommunications Research Institute)
** 正會員, 漢陽大學校 電子工學科
(Hanyang University, Department of Electronic Engineering)
接受日字:1996年10月21日, 수정완료일:1997年5月31日

큐의 길이 등을 이용한 과부하 제어 방법이 발표되었다 [1-5]. 그러나, 통신 기술의 발전으로 여러 종류의 고속 통신서비스가 교환 시스템에 통합됨에 따라 새로운 형태의 트래픽이 생성되었고, 교환 시스템의 과부하 제어 방법에도 변화가 필요하게 되었다 [6]. 기존 전화망에서 고려되지 않았던 과부하 천이(transient) 상태를 다루어야 하며, 과부하 제어에 사용할 시스템 파라미터 선택의 근본적인 문제가 더욱 중요해졌다.

본 논문에서는 비정적(non-stationary) 상태에 적합하며 쉽게 적용할 수 있는 과부하 검출 방법에 대하여 다룬다. 교환 시스템의 부하 상태를 세 개의 클래스로 구분하고 과부하 검출을 부하 상태의 클래스 식별 문제로 구성한 과부하 제어 모델을 제시하며, 임의의 데이터로부터 교환 시스템의 상태 파라미터와 부하 상태의 클래스간 퍼지 규칙을 자동으로 생성하는 방법을 제안한다. 제2장에서 교환 시스템의 과부하 특성과 검출 및 조절을 위하여 사용할 수 있는 교환 시스템의 상태 파라미터에 대하여 살펴보고, 과부하 검출 문제를 부하 클래스 식별 문제로 다룬다. 제3장에서는 임의의 데이터로부터 퍼지 소속(membership) 함수를 추정한 후, 계층적 퍼지 합성 네트워크(hierarchical fuzzy aggregation network)에 의하여 퍼지 규칙을 생성하는 방법에 대하여 제안한다. 제4장에서는 제안된 과부하 검출 방법을 소형 교환 시스템의 시뮬레이션 모델에 적용한 결과를 보인다.

II. 교환 시스템 과부하 제어 모델

1. 교환 시스템 과부하

교환 시스템이 짧은 시간 지속되는 과부하를 항상 처리 할 수 있도록 필요한 프로세서 처리 능력과 스위칭 능력을 가질 수 있도록 설계한다는 것은 경제성 관점에서 보면 매우 비효율 적이다. 그러므로, 교환 시스템은 상대적으로 높은 부하에서 효율적으로 동작하도록 설계되지만, 입력 트래픽이 일정 범위를 넘어서는 경우 제어 장치가 입력 호를 처리하지 못할 뿐만 아니라 호 처리 능력이 급격히 떨어져서 결국 시스템이 정지되는 과부하 현상이 발생한다.

가입자의 호 처리 요구는 일련의 순서에 따라 교환 시스템 내 제어 프로세스들간 메시지 전달을 통하여 순차적으로 처리되어 하나의 호가 완료된다. 그러나, 프로세스의 실시간 처리 능력은 제한되어 있으므로, 호 처리 과정 중 프로세스 부하의 폭증으로 호 처리가 지연되어 사용자가 호를 포기하게 될 경우, 그 때까지 사용된 프로세스의 실시간 처리 요구도 무효가 된다. 한편, 호 처리 지연으로 호를 포기한 사용자가 또 다시 호를 재시도하게 되면, 입력 트래픽은 계속적으로 증가하게 되며, 이러한 현상은 프로세스 부하를 가중시켜 호 처리 지연율을 높이며, 실제 호 완료에 사용된 프로세스 처리 시간 보다는 무효 호 처리에 사용된 시간이 증가하게 되어 상황을 더욱 악화시켜 결국 교환 시스템을 정지시키게 된다.

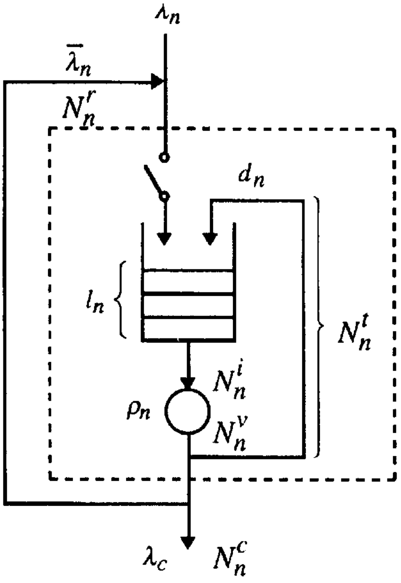


그림 1. 교환 시스템 부하상태 검출 모델
Fig. 1. The basic stucture of an overload detection model.

따라서, 교환 시스템은 과부하 현상을 방지하기 위하여 적절한 제어가 필요하다. 교환 시스템의 과부하 제어는 과부하를 검출한 후 호를 제한하거나 받아들이지 않는 과부하 검출과 호 제한 절차의 두 부분으로 수행된다. ISDN이나 인터넷과 같은 미디어를 통합 처리하는 통신망은 비정적 상태의 트래픽이 더욱 증가하게 되어 과부하 검출에서는 짧은 시간에 프로세스의 상태를 정확히 표시할 수 있는 파라미터를 선택하는 것이 중요한 문제라 할 수 있다. 과부하 검출에 사용할 수 있는 파라미터로는 그림1에서 나타낸 것처럼 단위 시간당 입력 호의 수(λ_n) 와 같은 부하 표시 파라미터, 프로세스 점유율(ρ_n) 이나 큐의 길이(l_n) 또는 태스크의 발생 간격(N_n^v, N_n^i) 등과 같은 시스템의 상태 표

시 파라미터, 호 설정지연(d_n) 이나 호 완료율(λ_c) 등과 같은 시스템의 성능 표시 파라미터 등이 있다.[7]

그러나, 이러한 파라미터를 사용하여 과부하를 검출하려고 하면, 과부하를 판정할 수 있는 기준치 설정이 어려우며, 장기간 지속되는 과부하 뿐 아니라 멀티미디어 트래픽 특성에 의한 과부하의 천이 상태나 단기간 지속되는 과부하를 검출하기에 적합한 파라미터들을 선택하는 것도 어려운 문제이다. 따라서, 본 논문에서는 새로운 통신망 환경에서 교환 시스템의 과부하 검출에 적합한 시스템 파라미터를 선택하는 방법과 과부하 검출 한계 치를 결정하는 방법을 제시한다.

2. 과부하 제어 모델

ITU-T는 교환 시스템의 과부하 제어에 대한 기준 모델로서 그림 2와 같은 출력 특성을 보이는 과부하 제어 방식을 사용하도록 권고하고 있다 [7]. ITU-T 모델은 교환 시스템이 프로세스 최대 점유율 ρ_m에서 최대 시스템 처리 용량 N_e를 수용할 수 있도록 설계되었을 때, 최대 시스템 처리 용량의 50%를 초과하여 입력하는 경우에도 교환 시스템에서 출력되는 완료 호는 최대 시스템 처리 용량의 90% 이상이 되도록 과부하가 제어되어야 한다고 규정하고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 과부하를 제어하지 않는 경우 입력 트래픽이 최대 시스템 처리 용량을 초과할 때부터 출력이 떨어지기 시작하며, 입력 트래픽이 제어되지 않는다면 결국 시스템은 정지하게 된다. 따라서, 시스템의 성능 저하를 방지하기 위하여 충분한 시간 이전에 과부하를 예측하여야만 단기간 또는 장기간 과부하를 제어할 수 있다.

부하를 측정하는 간격에 따라 과부하 검출 및 제어의 효율성은 많은 영향을 받게 된다. 부하 측정 간격이 과부하가 시스템에 파급되고 난 후에야 과부하의 발생을 알게 될 정도로 길거나, 부하 상태의 변화도 없는데 자주 부하를 측정하여 시스템 성능을 떨어뜨릴 정도로 짧다면 적당치 않다. 따라서, 본 논문에서는 과부하를 예측할 수 있는 기준으로 호 지속 시간 (call holding time) t_h를 제안하였다. 교환 시스템의 과부하는 호 설정 처리중, 통화중, 호 해제 처리중 등 시스템 내에서 진행 중인 호들이 프로세서 실시간과 같은 시스템 자원을 설계 용량 이상으로 점유할 때 발생하는 새로운 것이므로, 호가 입력되었을 때 교환 시스템 과부하에 의하여 무효 호가 될 가능성은 호가 설정되어 해제될 때까지 호가 지속되는 평균 호 접속 시간 내에서 발생할 수 있으므로, 과부하를 검출하기에 적합하다.

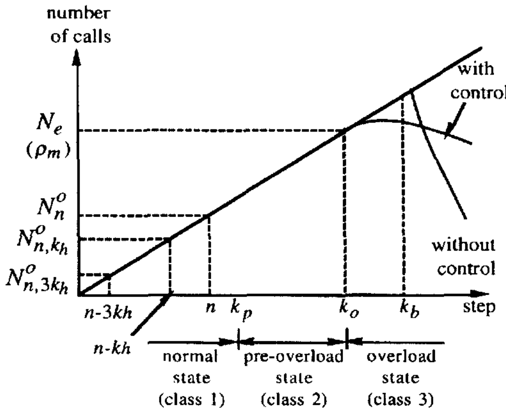


그림 2. 부하상태의 클래스모델
Fig. 2. Classification regions of the load status.

이와 같이 과부하 검출 기준을 정의하였을 때, 본 논문에서는 교환 시스템의 부하 상태를 다음과 같이 정의하였다. 우선 단기간 시스템 과부하는 t_h 동안 프로세스 점유율 ρ_m 을 초과하는 호가 입력되는 상태로, 장기간 시스템 과부하는 다수 개의 t_h 동안 ρ_m 을 초과하는 호가 입력되는 상태로 정의한다. 한편, 교환 시스템의 부하 상태는 그림 2에서 나타낸 것과 같이 과부하 제어가 없는 경우 부하 증가에 의하여 교환 시스템의 성능이 저하되기 시작한 시점인 t_b로부터 2배의 호 지속 시간 이전 시점인 t_o를 과부하 시작점으로, t_o 이후의 부하 상태를 과부하 상태 (overload state : class 3)로 정의한다. 또한, t_o 가 되기 2배의 호 지속 시간 이전 시점인 t_p를 과부하 이전 상태 시작점으로, t_p 와 t_o 사이를 과부하 이전 상태(pre-overload state : class 2)로 정의하고, t_p 이전의 상태는 정상 상태(normal state : class 1)로 정의한다.

이상의 정의에 따라 교환 시스템의 부하 상태는 다음과 같이 표현할 수 있다. 교환 시스템에서 나타날 수 있는 모든 부하 상태 특성을 보일 수 있는 입력 부하 경로의 집합을 L이라 할 때, 독립된 z 개의 입력 부하 인가 경로에 의하여 교환 시스템의 대표적인 부하 특성을 나타낸다면, $L = \{L_1(n), \ldots, L_z(n)\}$로 표현된다. 이러한 입력 부하 경로에 따라 변화되는 교환 시스템의 상태 경로 집합은 $S = \{S_1(n), \ldots\ldots, S_z(n)\}$로

정의할 수 있으며, 이때 i 번째 입력 부하 경로에 의한 임의 시점 k에서의 교환 시스템 상태 $S_i(k)$는 q 차원 벡터 $S_i(k)=(s_{i1}(k),\ldots,s_{iq}(k))$라고 하자.

이 논문에서 제안된 과부하 상태 후 성능 저하 시작점 t_b 는 교환 시스템의 출력 성능이 입력 호에 비하여 떨어지기 시작하는 시점으로서, 유사 과부하 상태를 오인하지 않도록 입력 호 대비 불완료 호의 비율이 임계 불완료 호율 r_m 을 넘어서며, 동시에 프로세스 점유율이 ρ_m 을 초과하는 점으로 정의한다. 시작점 tb는 연속적인 값을 가지므로, 과부하 검출 주기 단위 시간을 t_d 라 할 때, 호 지속 시간 t_h와 과부하 상태 후 성능 저하 시작점 t_b는 각각 $k_h=t_h/t_d$ 와 $k_b=t_b/t_d$ 로 표시할 수 있다. 따라서, 입력 부하 경로 $L_i(n)$에 의하여 발생되는 성능 저하 시작점 집합 $K_b^i=k$는 $r_i(k+2k_h),\ldots,r_i(k)>r_m, r_i(k-1)<r_m$ 과 $r_i(k+2k_h),\ldots,r_i(k)>r_m, r_i(k-1)<r_m$을 동시에 만족시키는 점들의 집합으로 볼 수 있다. 마찬가지로, 성능 저하 복구 점 집합 $K_r^i=\{k\}$는 연속적으로 $2k_h$ 동안 불완료 호율이 r_m 이하이며, 프로세스 점유율도 ρ_m 인 경우를 만족시키는 점들의 집합으로 구성할 수 있다. 한편, 입력 부하 경로 $L_i(n)$에 의하여 발생되는 과부하 상태 시작점 집합 K_o^i는 K_b^i 집합 요소들로부터 각각 kh 만큼 이전 점들의 집합이며, 과부하 이전 상태 시작점 집합 K_p^i 는 K_o^i 집합 요소들로부터 각각 $3k_h$ 만큼 이전 점들의 집합이다.

q 차원 벡터로 표시되는 교환 시스템의 상태는 다음 세 개의 부하 상태의 클래스 집합을 정의할 때, 어느 한곳에 속하게 된다. i번째 입력 부하 경로에 의한 과부하 상태 시작점 집합의 총 요소 수를 $N(K_o^i)$라 할 때, 과부하 상태의 클래스 집합 $C_o=\bigcup C_o^i$, 여기서 $C_o^i=\{S_i(k)|K_o^i(j)<k<K_r^i(j), j=1,\ldots,N(K_o{}^i)\}$ 이며, 과부하 이전 상태의 클래스 집합 $C_p=\bigcup C_p^i$, 여기서 $C_p^i=\{S_i(k)|K_p^i(j)<k<K_o^i(j), j=1,\ldots,N(K_p^i)\}$ 이며, 정상 상태의 클래스 집합 $C_n=S-C_o-C_p$ 이다. 따라서, 교환 시스템의 상태 파라미터 값이 어떤 부하 클래스에 속하는지에 따라 교환 시스템이 어떤 상태인지를 인식할 수 있게 된다.

이와 같은 방식의 과부하 검출 방법을 적용하기 위해서는 다음의 단계가 필요하다.

단계 1) 대표적인 부하 특성을 보이는 표준 부하 경로 집합(L), 교환 시스템 상태 벡터($S_i(k)$), 임계 불완료 호율(r_m), 프로세스 최대 점유율(ρ_m), 과부하 검출 주기 단위 시간(t_d) 등의 결정

단계 2) 표준 부하 경로에 따른 교환 시스템 상태 파라미터 데이터 획득

단계 3) 부하 상태의 클래스 데이터 집합 구성

단계 4) 교환 시스템 상태 파라미터 값으로부터 부하 상태의 클래스 식별 방법에 의한 교환 시스템 부하 상태 검출

이 방식에서 과부하 검출의 성능에 영향을 미치는 것으로는 표준 부하 경로의 선정 방법, 교환 시스템 상태 벡터의 선정, 상태 파라미터 값으로부터 부하 상태의 클래스 식별 방법 등이 있다.

표준 부하 경로는 단기간 과부하와 장기간 과부하를 유발하는 입력을 선택하여야 한다. 기존의 과부하 제어 방식에서는 교환 시스템의 상태 벡터의 선택과 상태 파라미터 값으로부터 부하 상태의 클래스 식별 방법을 일반적으로 적용할 수 있는 방법이 없었다. 어떠한 상태 벡터가 과부하를 구분하는데 민감한가 하는 것과 이 상태 벡터값으로부터 과부하를 어떻게 결정하는가 하는 것이 문제가 된다. 실제로 상태 벡터와 부하 클래스간 관계는 비선형적이고 시간 지연 요소가 있으며, 또한 상태 벡터값으로부터 정확하게 부하 클래스를 구분할 수 없다. 단지 교환 시스템 운용 전문가가 경험에 의하여 애매하게 부하 상태를 표현할 뿐이다. 예를 들면, "입력 부하가 높으면, 부하는 과부하 상태이다." 정도이다. 그러므로, 상태 데이터로 부터 부하 상태를 구분할 수 있는 교환 시스템의 운용 전문가 이상 수준의 방법이 필요하다. 이를 위해 다음 장에 측정 데이터로부터 부하의 상태를 추정할 수 있는 퍼지 규칙 생성 방법을 제시한다.

III. 과부하 검출을 위한 퍼지 규칙 생성

앞 장에서 정의한 바와 같이 부하 상태 클래스 구분의 문제는 표준 부하 경로에 의한 상태 파라미터들을 학습 데이터(training data)로 하여 상태 파라미터와 부하 클래스간의 연관 관계를 추출한 후, 임의의 상태 파라미터 데이터로부터 클래스를 추정하는 문제이다. 이 논문에서는 계층적 퍼지 합성 네트워크(hierar-

chical fuzzy aggregation network)을 사용하여 K 개의 상태 파라미터로부터 M 개의 클래스간 연관 관계를 추출 하는 방법을 제시한다.

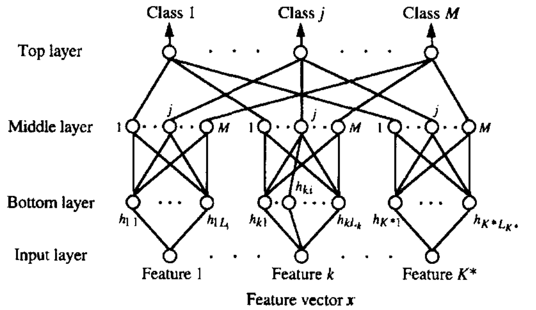


그림 3. 퍼지 합성 네트워크
Fig. 3. The fuzzy aggregation network.

계층적 퍼지 합성 네트워크는 그림 3과 같이 네트워크의 각 노드들의 부제한조건(sub criteria)에 의한 결과가 합성되어 전체적 제한 조건을 만족시키도록 노드간을 퍼지 연산자(fuzzy operator)로 연결한 것이 특징이다. 노드간 연결 방법으로는 몇몇 union 과 intersection, generalized mean, γ-model 등이 연구되었는데 [8,9] 그 중 일반화된 평균 연산자(generalized mean operator)는 식 (1) 과 같이 표현되며, p 값에 따라 min에서 max 연산자 까지 변화하는 특성을 보인다.[12]

$$g_p(x_1, \cdots, x_n; w_1, \cdots, w_n) = \left[\sum_{i=1}^{n} w_i x_i^p\right]^{1/p}, \ \sum_{i=1}^{n} w_i = 1. \quad (1)$$

근사 네트워크(approximate network)의 구조와 입력 학습 데이터 및 출력 예상치 데이터 집합이 주어질 경우 각 노드에서의 합성 접속 형태와 파라미터는 등사면 감소법(gradient descent)에 의하여 결정할 수 있으며, 잉여 상태 파라미터를 찾아낼 수도 있다 [8,9]. 따라서, 본 논문에서는 교환 시스템의 과부하 상태 검출의 방법으로 퍼지 합성 네트워크에 의한 규칙 기반 부하 상태 표현 방식(rule-based load status labeling)과 퍼지 합성 네트워크상 잉여 상태 파라미터 검출 방법을 사용하여 학습 데이터로부터 자동적으로 과부하 검출 퍼지 규칙을 생성하는 방법을 제안한다.

1. 상태 파라미터의 소속 함수 추정

과부하 검출 퍼지 규칙의 생성을 위하여 처음 단계는 상태 파라미터가 가질 수 있는 값의 소속 함수를 추정하는 것이다. 예를 들어 프로세스 점유율이 높다, 중간이다, 낮다라는 표현을 퍼지 집합 개념에서 표현하여야 한다. 본 논문에서는 근사화된 히스토그램(smoothed histogram)을 사용한다. 부하 클래스 j 인 상태 파라미터 k 의 데이터로 구성되는 근사화된 히스토그램을 $m_k^j(x_k)$라 하자.

이러한 히스토그램에 의하여 소속 함수를 가장 가깝게 표현하는 방법을 생각해 보면 $h_k(x, p)$를 parameterized function 이라 할 때, $m_k^j(x_k)$ 는 $H_k^j = \{h_k(x, p_i) | i = 1, \ldots, L_k^j\}$로 근사화 시킬 수 있다. 소속 함수를 근사화할 수 있는 매개함수로 식 (2)와 같은 Gaussian 함수를 고려할 수 있는데, 이때 $p = (c, \sigma)$가 된다.

$$G(x, c, \sigma) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

좀더 유연한 모델링을 위하여 비대칭 Gaussian 함수를 사용한다면, 다수 개의 최대치가 있는 소속 함수의 경우 식 (3)과 같이 모델링 할 수 있다.

$$m_k^j(x_k) \approx \sum_{i=1}^{L_k^j} a_{ki}^j F_{ki}^j(x_k) \quad (3)$$

$$F_{ki}^j(x_k) = \begin{cases} G(a_{ki}^j, c_{ki}^j, \sigma_{1ki}^j) & \text{if} \quad x_k < c_{ki}^j \\ G(a_{ki}^j, c_{ki}^j, \sigma_{2ki}^j) & \text{if} \quad x_k \geq c_{ki}^j. \end{cases}$$

여기서, 파라미터 벡터 p_{ki^j}는 $p_{ki^j} = (a_{ki}^j, c_{ki}^j, \sigma_{1ki}^j, \sigma_{2ki}^j)$이다.

따라서, 상태 파라미터 k가 부하 클래스 j에 속하는 정도를 표시하는 소속 함수는 식 (3)과 같이 비대칭 Gaussian 매개함수의 합으로 표시되며, 이때 함수의 파라미터는 등사면 감소법을 이용하여 식 (4)의 목적 함수를 최소화하는 방향으로 식 (5)와 같은 갱신 규칙(update rule)에 따라 결정된다.

$$J_{k^j}(p_k^j) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{L_k^j}\left[h_k^j(x_k, \ p_{ki}^{\ j}) - m_k^j(x_k)\right]^2 \quad (4)$$

$$p_{ki}^{\ j(new)} = \ p_{ki}^{\ j(old)} - \rho\frac{\partial \ J_k^{\ j}}{\partial \ p_{ki}^{\ j}} \quad (5)$$

이러한 방법으로 소속 함수를 결정할 때 초기치에 따라 국부 최소치(local minima)에 도달할 위험이 있기 때문에 초기치 선정이 중요하다. 본 논문에서는 다음과 같은 heuristic한 초기치 결정 방법을 사용한다.

1) 근사화 된 히스토그램을 데이터로부터 생성한다.
2) 최소 제곱(least square) 근사에 의하여 $m_k^j(x_k)$ 에 가까운 다항(polynomial) 함수 $p(x)$의 최소 차원을 결정한다.
3) $p(x)$의 극점을 구하여 충분히 큰 양수 값을 갖는 극점의 개수 만큼을 Gaussian 함수의 개수로 정한다.
4) 극값을 Gaussian 함수의 α_{ki}^j 로, 극점의 위치를 c_{ki}^j 의 초기치로 한다.

2. 퍼지 합성 네트워크에 의한 규칙 생성

부하 클래스를 상태 파라미터로부터 결정하는 퍼지 규칙을 만들기 위해서는 상태 파라미터와 클래스간 관련성 여부, 관련이 있는 경우 연관 관계를 추출하여야 한다. 본 논문에서는 입력과 출력간 잉여(redundancy)을 제거하고, 학습 데이터로부터 교사학습(Supervised learning)에 의하여 입력과 출력간 퍼지 규칙을 생성하는 그림 3과 같은 3계층 퍼지 합성 네트워크를 사용한다.

퍼지 합성 네트워크는 K개의 상태 파라미터를 구분하는 입력층, 학습 데이터로부터 구한 상태 파라미터의 소속 함수를 활성함수(activation function)로 하는 하위층, 입력층과 상위층간 퍼지 관계의 학습을 위한 중위층, M개의 클래스를 구분하는 상위층으로 구성된다. 특히 중위층과 상위층은 일반화된 평균과 같은 퍼지 합성 함수를 활성 함수로 사용하여 상태 파라미터와 부하 클래스간 연결 관계의 conjunction, disjunction을 추출하도록 한다.

퍼지 규칙의 생성은 퍼지 합성 네트워크의 잉여를 제거하는 것으로부터 시작한다. 하위층의 상태 파라미터 k의 부하 클래스 j에 대한 소속 함수 $m_k^j(x_k)$ 는 상태 파라미터 k와 부하 클래스 j간 잉여를 표시한다. 만약 학습 데이터를 이용한 히스토그램 형태의 소속 함수를 만든 결과 연관 관계가 나타나지 않으면 퍼지 규칙에서도 나타나지 않을 것이다. 따라서, 이러한 데이터를 토대로 연관 관계가 없는 연결(connection)을 제외시킨 근사 네트워크를 초기 네트워크로 하여 수정된 등사면 감소법으로 학습시킨다.[8][9]

학습된 최종 네트워크는 결정 규칙(decision rule)의 집합으로 볼 수 있는데, 중위 및 상위층 노드들은 학습 결과 결정된 합성 함수 (aggregation function)의 파라미터에 의해 conjunctive 이거나 disjunctive를 나타낸다. 예를 들어 식 (1)과 같이 일반화된 평균을 연산자로 사용한 경우 p가 1보다 작으면 conjunctive이며, 가중치(weight) w 는 전건부(antecedent clauses)의 상대적 중요도를 나타낸다. 따라서, 최종 퍼지 합성 네트워크의 결과를 정리하면 상태 파라미터와 부하 클래스간 연관 관계를 퍼지 규칙으로 나타낼 수 있다.

Ⅳ. 퍼지 규칙 생성에 의한 과부하 검출 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 과부하 검출 알고리즘을 100개의 가입자 선과 32개의 중계선 용량의 EMS PABX 시뮬레이션 모델[13]에 적용하여, 성능 분석을 하였다. 시뮬레이션은 분산 프로세서 시스템 시뮬레이터[14]에 의하여 수행되었다. 시뮬레이션 모델에서 호가 실패한 가입자의 80%가 호를 재시도 한다고 가정하였다. 이 모델에서는 t_d 와 t_h 를 각각 10초와 90초로 하였으며, r_m 은 0.05로, ρ_m은 0.75로 하였다. 상태 파라미터로는 과부하 검출 단위 시점의 입력 호의 수, 과부하 검출 단위 시점으로부터 k_h 동안 입력된 총 호수, 과부하 검출 단위 시점으로부터 $3k_h$ 동안 입력된 총 호수, 과부하 검출 단위 시점의 프로세서 점유율, 과부하 검출 단위 시점으로부터 k_h 동안 총프로세서 점유율, 과부하 검출 단위 시점으로부터 $3k_h$ 동안 총프로세서 점유율 등 표 1에서 보여준 6개의 파라미터를 선택하였다. 따라서, 이 시뮬레이션 모델은 3개의 부하 클래스와 6개의 상태 파라미터를 갖는 교환 시스템의 식별 문제로 볼 수 있다.

표 1. 선택된 6개의 파라미터
Table 1. The six features used for rule generation.

Feature	1	2	3	4	5	6
	N_n^o	$N_{n,kh}^o$	$N_{n,3kh}^o$	ρ_n	$\rho_{n,kh}$	$\rho_{n,3kh}$

교환 시스템의 표준 부하 패턴으로는 시스템에 과부하 상태를 일으키는 다음의 세가지 종류 $L_1(n) = N_e \rho_m n$, $L_2(n) = N_e(1-\rho_m)n/2k_h+N_e(\rho_m-0.1)$, $L_3(n) = 2N_e(1-\rho_m)n/k_h+N_e(\rho_m-0.1)$ 를 적용하였으며, 부하 경로를 따른 측정 값을 학습 데이터와 시험 데이터로 하였다.

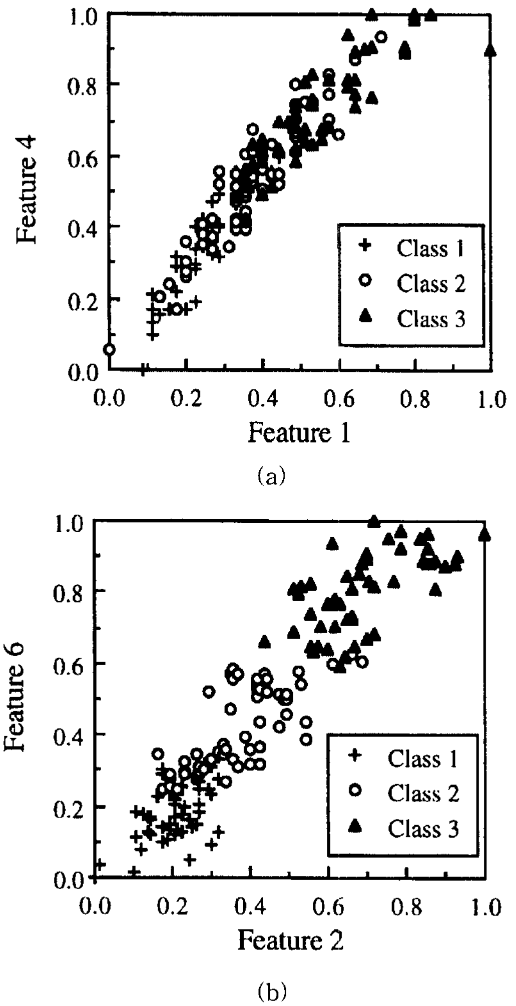


그림 4. (a) 파라미터 1과 4 (b) 파라미터 2와 6 학습 데이터의 scatter diagram

Fig. 4. Scatter diagram of (a) features 1 and 4, and (b) features 2 and 6 of the training data.

각 클래스에 대하여 50개의 학습 데이터를 표준 부하 경로에 의한 측정값으로부터 선정하였고, 이들 상태 파라미터 데이터를 [0,1] 사이로 정규화 하였다. 상태 파라미터 데이터간 연관 관계는 파라미터 1, 4, 5는 클래스간 중복이 심하여 과부하 클래스 식별 파라미터로는 적당하지 않다. 그림 4(a)는 그 중 파라미터 1과 4의 관계를 보여주고 있다. 그러나, 파라미터 2, 3, 6은 클래스의 식별 파라미터로 적당한 것으로 나타난다. 그림 4(b)는 파라미터 2와 6의 관계를 보여준다. 본 논문에서는 잉여 파라미터 검출 방법[10]에 의하여 초기 6개의 파라미터 중 쉽게 1, 4, 5 파라미터가 제거될 수 있었으며, 부하 클래스를 구분하는데 본 시뮬레이션 모델에서는 2, 3, 6 파라미터를 선택하였다.

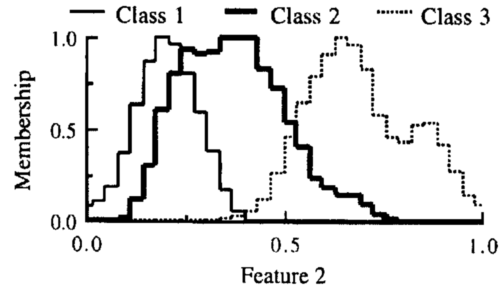


그림 5. 파라미터 2의 히스토그램

Fig. 5. Smoothed hstograms for feature 2.

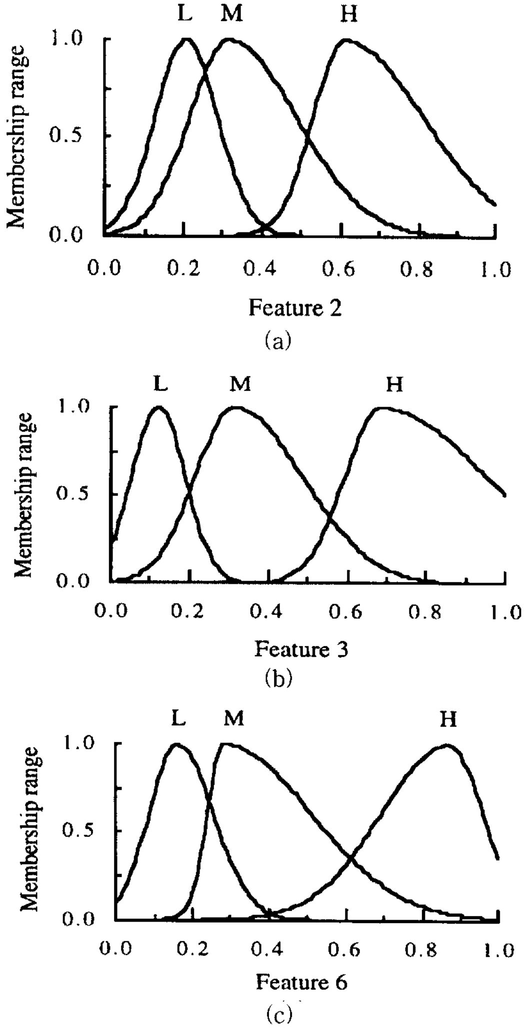


그림 6. (a) 파라미터 2, (b) 파라미터 3, (c) 파라미터 6의 Gaussian fitted된 소속함수

Fig. 6. Gaussian fitted linguistic labels for (a) Feature 2, (b) Feature 3, and (c) Feature 6.

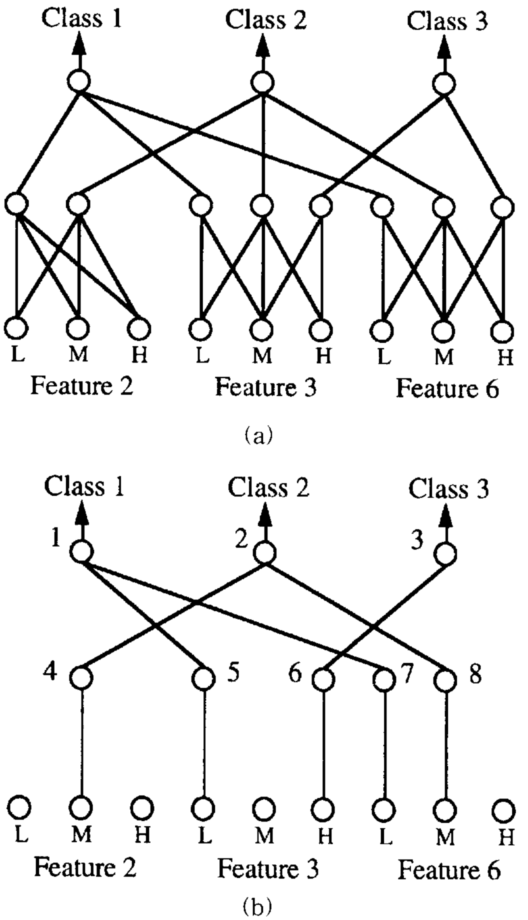


그림 7. (a) 규칙생성을 위한 초기 합성 네트워크 (b) 학습후 합성 네트워크

Fig. 7. (a) Approximate network structure for generating rules. (b) Reduced network after training.

표 2. 최종 네트워크의 가중치와 *p*값

Table 2. Values of weights and parameter *p* for the reduced network.

Node	1	2	3	4	5	6	7	8
Weights	0.476 0.524	0.274 0.726	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
p	-6.021	-0.615	1.018	0.922	0.988	0.982	1.006	-1.121

그림 5는 3 개의 상태 파라미터 중 2번 파라미터 측정 데이터 값의 히스토그램을 나타내고 있다. 이 히스토그램은 파라미터 도메인을 32 등급으로 나누었으며, 7 단계의 삼각 윈도우 함수 (triangular window function)에 의하여 근사화하였다. 그림 6은 이 히스토그램으로부터 비대칭 Gaussian fitting 에 의하여 결정된 linguistic label의 소속 함수를 보였다. 부하 상태의 클래스 식별 규칙을 생성하기 위한 초기 합성 네트워크와 학습 데이터로부터 결정된 합성 네트워크는 그림 7에서 보여주고 있다.

표 2는 학습 후 최종 가중치와 p 값을 보인다. 이상 학습 데이터로부터 구성한 퍼지 합성 네트워크는 다음과 같은 퍼지 규칙으로 표현된다.

R1) 파라미터 3이 LOW이고 파라미터 6이 LOW이면, 부하 상태의 클래스는 1이다.

R2) 파라미터 2 가 MEDIUM이고 파라미터 6이 MEDIUM이면, 부하 상태의 클래스는 2이다.

R3) 파라미터 3이 HIGH이면, 부하 상태의 클래스는 3이다.

이 규칙들을 다시 표현하면 다음과 같다.

R1) $3k_h$ 동안 축적된 입력 호의 값이 작고, $3k_h$ 동안 축적된 프로세서 이용 율이 작으면, 부하 상태의 클래스는 정상 상태이다.

R2) k_h 동안 축적된 입력 호의 값이 보통이고, $3k_h$ 동안 축적된 프로세서 이용 율이 보통이면, 부하 상태의 클래스는 과부하 이전 상태이다.

R3) $3k_h$ 동안 축적된 입력 호의 값이 크면, 부하 상태의 클래스는 과부하 상태이다.

이러한 일련의 규칙들은 그림 4에서 볼 수 있는 데이터 집합의 특성을 잘 나타내고 있다. 이 시뮬레이션 모델의 과부하 검출을 실험하기 위하여 2개의 최대치를 갖는 입력 부하 경로를 적용하여 측정한 상태 파라미터 값들 중 각 클래스에 해당하는 50개의 데이터를 임의로 선정하여 규칙 생성 네트워크에의 학습 데이터로 사용하였다. 네트워크의 출력값을 최대 소속 역 퍼지화(maximum-membership defuzzification) 방식을 적용하여 클래스를 확인한 결과, 클래스들간 오류 행렬(confusion matrix)은 표 3과 같이 나타났고, 정확도가 92%로서 좋은 결과를 보였다.

표 3. 인식된 크라스간 오류 행렬

Table 3. Confusion matrix for the test data.

		Recognized class		
		1	2	3
True class	1	42	8	0
	2	2	48	0
	3	0	2	48

V. 결 론

미래의 정보통신망이 멀티미디어를 처리해야 하는 통합망으로 발전됨에 따라 교환기 트래픽은 점점 다양한 특성을 가지게 된다. 특히 과부하 제어는 통신망의 안정성에 있어서 중요한 문제이다. 본 논문에서는 단기간 과부하 상태를 검출할 수 있으며, 교환기에서 얻을 수 있는 임의의 상태 값들로부터 동적 과부하 상태도 검출할 수 있는 퍼지 규칙 기반 과부하 검출 방법을 제안하였다. 과부하, 과부하 이전, 정상 상태로 구분하는 교환 시스템 부하 상태 모델을 제안하였으며, 상태 파라미터와 부하 클래스간 연관 관계를 나타내는 방법으로 히스토그램에 의한 소속 함수 구성과 퍼지 합성 네트워크에 의한 잉여 파라미터 제거 및 파라미터와 클래스간 연관 관계를 자동으로 퍼지 규칙화하는 방법을 제안하였다. 충분한 학습 데이터를 확보할 수 있을 경우 교환 시스템의 부하 특성을 모르더라도 과부하 검출에 적합한 상태 파라미터와 그 값에 의한 과부하 상태를 예측할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] P. P. Burke, "Automatic overload controls in a circuit-switched communications network," *Proc. National Electronics Conference*, pp. 667-672, 1968.

[2] G. Daisenberger, J. Oelrich, and G. Wegmann, "STATOR - STAtistical Overload Regulation - and TAIL - Time Account Input Limitation - Two concepts for overload regulation in SPC systems," *Proc. ITC-11*, paper 2.1B-4, 1985.

[3] S. S. Joo, "General approach to overload control for the SPC switching system," *Proc. ICCS'90*, vol. 2, pp. 688-691, Nov. 1990.

[4] U. Korner, "Overload control of SPC systems," *Proc. ITC-13*, pp. 105-114, 1991.

[5] S. Sumita and S. Nakagawa, "Performance specification, call-processing capacity, and overload control for SPC systems with extremely high peak traffic," *Proc. ITC-14*, pp. 253-262, 1994.

[6] P. Hanselka, J. Oehlerich, and G. Wermann, "Adaptation of the overload regulation method STATOR to multiprocessor controls and simulation results," *Proc. ITC-12*, pp. 395-401, 1989.

[7] P. Kallenberg, "Load estimation for overload control," *Proc. ITC-12*, pp. 412-418, 1989.

[8] R. Krishnapuram and J. Lee, "Fuzzy-connective-based hierarchical aggregation networks for decision making," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 11-27, Feb. 1992.

[9] R. Krishnapuram and J. Lee, "Fuzzy-set-based hierarchical networks for information fusion in computer vision," *The Journal of Neural Networks*, vol. 5, no. 2, pp. 335-350, March 1992.

[10] R. Krishnapuram and F. C.-H. Rhee, "Compact fuzzy rule base generation methods for computer vision," *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE '93)*, San Francisco, CA, vol. II, pp. 809-814, March 1993.

[11] F. C.-H. Rhee and R. Krishnapuram, "Fuzzy rule generation methods for high-level computer vision," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 60, pp. 245-258, Dec. 1993.

[12] H. Dyckhoff and W. Pedrycz, "Generalized means as a model of compensation connectives," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 143-154, 1984.

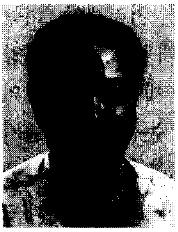
[13] C. H. Yim and H. L. Hartmann, "Throughput behavior of switching systems under heavy load conditions," *Proc. ITC-11*, paper 5.1B-5, 1985.

[14] S. S. Joo, "Overload control algorithms for the stored program control switching system," *Ph.D. Thesis*, Seoul National Univ., Feb. 1989.

저 자 소 개

朱 成 淳(正會員)

현재 한국전자통신연구원. 교환기술연구단 s/w 공학연구부 s/w 종합검증실 책임연구원



李 定 勳(正會員)

1963년 3월 3일생. 1985년 5월 University of Southern California 전자공학사 (BSEE). 1985년 8월 ~ 1987년 5월 University of Missouri 전자공학석사(MSEE). 1990년 1월 ~ 1993년 5월 University of Missouri 전자공학박사(Ph. D). 1994년 3월 ~ 1995년 8월 한국전자통신연구소 통신시스템 연구단 선임연구원. 1995년 9월 ~ 현재 한양대학교 전자공학과 전임강사. 주관심분야는 컴퓨터비전, 패턴인식, 퍼지시스템 및 신경회로망 모델링.