

무선 매체 접근 제어 프로토콜 상에서의 음성/데이터 통합 시스템을 위한 뉴로 퍼지 제어기 설계

최원석, 김응주, 김범수, 임묘택  
고려대학교 전기전자전파공학부

Design of a NeuroFuzzy Controller for the Integrated System of Voice and Data Over Wireless Medium Access Control Protocol

Won-Seock Choi, Eung-Ju Kim, Beom-Soo Kim, Myo-Taeg Lim  
School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, South Korea

**Abstract** - In this paper, a NeuroFuzzy controller (NFC) with enhanced packet reservation multiple access (PRMA) protocol for QoS-guaranteed multimedia communication systems is proposed. The enhanced PRMA protocol adopts mini-slot technique for reducing contention cost, and these minislots are further partitioned into multiple MAC regions for access requests coming from users with their respective QoS(quality-of-service) requirements. And NFC is designed to properly determine the MAC regions and access probability for enhancing the PRMA efficiency under QoS constraint. It mainly contains voice traffic estimator including the slot information estimator with recurrent neural networks (RNNs) using real-time recurrent learning (RTRL) and fuzzy logic controller with Mandani- and Sugeno-type of fuzzy rules. Simulation results show that the enhanced PRMA protocol with NFC can guarantee QoS requirements for all traffic loads and further achieves higher system utilization and less non real-time packet delay, compared to previously studied PRMA, IPRMA, SIR, HAR, and F2RAC.

1. 서 론

패킷 무선망은 점-대-다중점 형태의 다중접속매체 이므로 매체를 공유하기 위한 무선 접속 기술을 필요로 한다. 최근 들어 음성과 같은 실시간 고정 대역을 필요로 하는 트래픽과 불규칙적으로 발생하는 트래픽까지 포함하는 광대역 서비스 응용 프로그램을 지원하기 위해 MAC 계층의 역할이 보다 중요하게 되었다.

본 논문은 프레임 구조 하에서 음성과 같은 실시간 트래픽과 데이터와 같은 비실시간 트래픽을 효율적으로 지원하기 위해 트래픽 부하에 따라 예약 요청 구간의 길이를 가변시키고, 트래픽 유형별 QoS 요구 사항을 만족시킬 수 있도록 예약 요청 구간의 길이와 유형별 세부 구간 길이 및 그 전송 허용 확률을 결정 하기 위해 퍼지 제어 시스템을 사용한다.

2. 시스템 모델

고려하는 시스템의 상향링크는 그림 1에서와 같이 고정된 수의 시간 슬롯들로 구성되는 프레임 구조를 가지며, 기존의 시스템 들에서는 R-subframe과 T-subframe을 이루는 슬롯의 수가 고정적인데 반해, 본 논문에서는 그 수가 시스템에 인가된 트래픽 상태에 따라 적응적으로 변화 된다. 특히, R-subframe을 이루는 슬롯들은 보다 작은 미니슬롯들로 분할되고 혼합된 트래픽을 수용시 트래픽 유형에 따라 다시 세분된다.

다중 트래픽들이 T-subframe에 있는 슬롯을 예약하기 위해 예약 요청 슬롯을 R-subframe을 통해 전송하게 되는데, 이 때 두가지 방안이 존재하는데, 본 논문에서는 트래픽 요구 QoS를 만족시킬 수 있는 효율적인 임의의 접속제어기를 설계하는 것이 목적이므로, 이중 트래픽에 대한 보다 직접적인 제어가 가능한 방안을 고려한다. 본 논문에서는 음성과 데이터의 통합 서비스를 고려한다. 따라서 설계 파라미터는 예약 요청을 전송할 수 있는 구간의 총 슬롯 수  $m$ , 음성과 데이터를 위한 각각의 미니 슬롯 수  $R$ 과  $m \cdot i - R$  그리고 음성에 할당된 예약 구간에 예약 요청 메시지를 전송할 수 있는 허용 확률 (voice permission probability)  $P_v$ 이다.

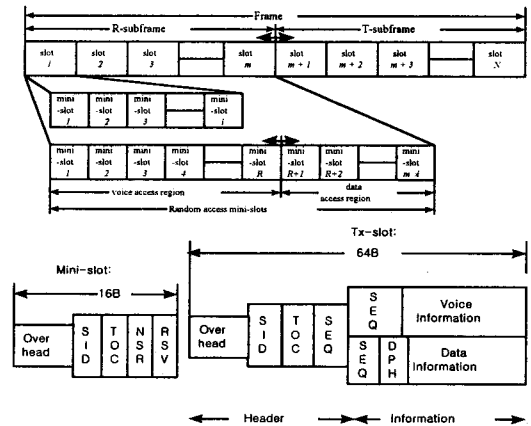


그림 1 프레임과 슬롯 구조

3. 음성 데이터 통합 NFC 설계

그림 2는 프레임구조를 갖는 MAC 환경하에서 NFC의 기능 블록도이다. NFC는 real-time recurrent learning(RTRL) 알고리즘을 이용한 Recurrent Neural Networks(RNNs)구조의 슬롯 정보 예측기 (Slot Information Estimator)가 병렬적 구조인 음성 트래픽 예측기 (Voice Traffic Estimator), 예약 구간의 길이  $m$ 과 음성의 예약 구간 길이  $R$ 를 결정하는 퍼지 MAC 경계값 제어기, 그리고 음성의 전송 허용 확률  $P_v$ 을 결정하는 퍼지 접속 허용 제어기로 구성된다

3.1 RNN 음성 트래픽 예측기

음성 트래픽 예측기의 두 개의 슬롯 정보 예측기의 결과값인  $\hat{N}_{vc}(k+1)$ 와  $\hat{N}_{vs}(k+1)$ 는 각각 이번 프레임의 슬롯의 결과값을 예측한 값이다. 이 값은 다시 퍼지 논리 제어의 입력값으로 사용되어 이번 프레임에 접속할 음성 사용자의 수를 예측하게 된다. RNNs의 활성화 함수, 가중치 갱신 법칙, 비용함수는 다음과 같다.

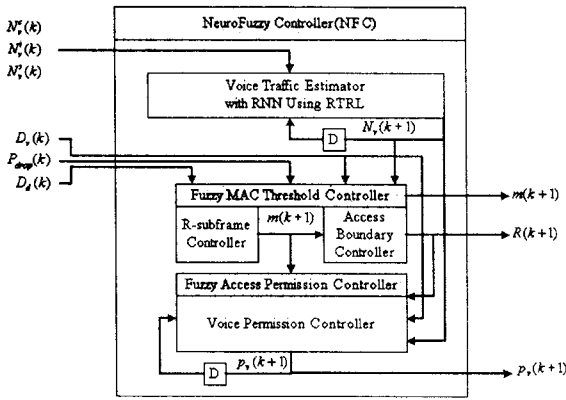


그림 2. 뉴로 퍼지 제어기

$$a(x) = x \text{ (nonlinearity)}$$

$$W(k+1) = W(k) - \eta \frac{\partial C}{\partial W} \text{ (weight update rule)}$$

$$C(k) = \frac{1}{2} (\widehat{N}_{vs}(k+1) - N_{vs}(k+1))^2 \text{ (for success)}$$

$$C(k) = \frac{1}{2} (\widehat{N}_{is}(k+1) - N_{is}(k+1))^2 \text{ (for collision)}$$

음성 사용자 예측을 위한 퍼지 논리 제어의 입력 변수로서는  $\widehat{N}_{vc}(k+1)$ 와  $\widehat{N}_{is}(k+1)$ 를 가지며 입력변수들의 용어 집합은 다음과 같이 정의 된다.

$$T(N_{vc}(k+1)) = \{NvcFew, NvcMany\} = \{VCFW, VCMA\}$$

$$T(N_{is}(k+1)) = \{NvsFew, NvsMany\} = \{VSFW, VSMA\}$$

퍼지부호기와 퍼지복호기에서 사용될 멤버십 함수로서는 등변사다리꼴 함수  $g(x; a, b, c, d)$ 를 사용하며, 등변사다리꼴 함수는 다음과 같이 정의 된다.

$$g(x; a, b, c, d) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a < x \leq b; \\ 1, & \text{for } b < x \leq c; \\ \frac{x-d}{c-d} & \text{for } c < x \leq d; \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

$\widehat{N}_{vc}(k+1)$ 와  $\widehat{N}_{is}(k+1)$ 의 원소인  $VCFW$ ,  $VCMA$ ,

$VSFW$ ,  $VSMA$ 에 대한 멤버십 함수는 다음과 같다.

$$\mu_{VCFW} N_{vc}(k+1) = g(N_{vc}(k+1); 0, 0, VCFW_c, VCFW_d)$$

$$\mu_{VCMA} N_{vc}(k+1) = g(N_{vc}(k+1); VCMA_a, VCMA_b, VCMA_{max}, VCMA_{max})$$

$$\mu_{VSFW} N_{is}(k+1) = g(N_{is}(k+1); 0, 0, VSFW_c, VSFW_d)$$

$$\mu_{VSMA} N_{is}(k+1) = g(N_{is}(k+1); VSMA_a, VSMA_b, VSMA_{max}, VSMA_{max})$$

위의 멤버십 함수에서 사용되는 파라미터들은 실험을 통해 적당히 선택되고,  $VCMA_{max}$ ,  $VSMA_{max}$ 는 시스템 파라미터로부터 결정된다. 이렇게 선택된 입력변수들과 그들의 용어에 기반하여, 음성 사용자 예측기는 다음과 같이 4개의 간단한 퍼지 결정 규칙들을 갖게 된다.

Rule j: IF  $N_{vc}(k+1)$  is  $X_1$ , and  $N_{is}(k+1)$  is  $X_2$ , THEN  $N_{vj}(k+1)$

$(k+1)$ 번째 프레임에 대한 음성 사용자 예측  $N_{vj}(k+1)$ 를 결정하기 위해서 먼저 max-min 추론 방식을 통해 규칙 j의 적합도  $w_j$ 를 산출하고, 퍼지 복호를 위해 다음과 같은 무게중심법을 사용한다.

$$N_v(k+1) = \frac{\sum_{j=1}^J w_j \cdot N_{vj}(k+1)}{\sum_{j=1}^J w_j}$$

### 3.2 퍼지 MAC 경계값 제어기

변동하는 프레임 부하에 효과적으로 적응하고 데이터보다 음성에 보다 높은 우선 순위를 부여하기 위한 목적으로 예약-하위 프레임(R-subframe)의 길이 ( $m$ )와 음성 사용자의 접속 슬롯 수 ( $R$ )를 퍼지논리를 이용하여 결정하는 제어기를 설계한다.

#### 3.2.1 예약 하위 프레임 제어기

예약-하위프레임 제어기의 입력 변수로서 음성의 패킷 손실 확률  $P_{drop}$ 과 데이터의 지연  $D_d$ 를 선택하며, 이들의 용어 집합은 다음과 같이 정의 된다.

$$T(P_{drop}(k)) = \{BadLow, Good, BadHigh\} = \{BL, GD, BH\}$$

$$T(D_d(k)) = \{VerySmall, Small, Middle, Large\} = \{VSM, SM, MD, LA\}$$

또한, 멤버십 함수는 다음과 같이 정의 된다.

$$\mu_{BL} P_{drop}(k) = g(P_{drop}(k); 0, 0, BL_c, BL_d)$$

$$\mu_{GD} P_{drop}(k) = g(P_{drop}(k); GD_a, GD_b, GD_c, GD_d)$$

$$\mu_{BH} P_{drop}(k) = g(P_{drop}(k); BH_a, BH_b, 1, 1)$$

$$\mu_{VSM} D_d(k) = g(D_d(k); 0, 0, VSM_a, VSM_b)$$

$$\mu_{SM} D_d(k) = g(D_d(k); SM_a, SM_b, SM_c, VSM_d)$$

$$\mu_{MD} D_d(k) = g(D_d(k); MD_a, MD_b, MD_c, MD_d)$$

$$\mu_{LA} D_d(k) = g(D_d(k); LA_a, LA_b, \infty, \infty)$$

위 멤버십 함수에서 사용되는 파라미터,  $BL_c, BL_d, GD_a, GD_b, GD_c, GD_d, BH_c, BH_d, VSM_c, VSM_d, SM_a, SM_b, SM_c, SM_d, LA_a, LA_b$ 들은 실험을 통해 적당히 선택된다.  $P_{drop}(k)$ 에 대한  $BH_d$ 와  $GD_d$ 는 음성 사용자의 QoS제약 조건 값인 최대 패킷 손실 확률로 설정되며,  $GD_c$ 와  $BH_a$ 는 음성 패킷 손실 확률의 순간적인 변화를 고려하여 QoS제약 조건을 보장할 수 있도록 설정된다. 퍼지 복호 과정은 앞 절에서와 같이 무게중심법을 사용하여,  $(k+1)$ 번째 프레임의 예약 하위 프레임 길이  $m(k+1)$ 를 결정한다.

#### 3.2.2 접속 경계 제어기

데이터 트래픽 보다 높은 우선순위를 음성 트래픽에 부여하기 위해, 음성의 QoS( $P_{drop}^{max} = 0.01$ )를 만족시킬수 있는 접속 구간을 먼저 정한 후 데이터 트래픽의 접속 구간을 정한다. 본 제어기는 현재 프레임에 전송한 음성 단말들이 사용한 전송 허용 확률  $P_v$ , 음성 트래픽 예측 기로부터 추정된  $N_v(k+1)$ , 그리고 현재 프레임까지 측정된 지연과 패킷 손실 확률 값인  $D_v$ 와  $P_{drop}$ 를 입력으로 사용한다. 입력변수와 멤버십함수는 다음과 같다.

$$T(N_v(k+1)) = \{Few, Many\} = \{FE, MA\}$$

$$T(P_v(k)) = \{Low, High\} = \{LO, HI\}$$

$$T(D_v(k)) = \{Short, Long\} = \{SH, LN\}$$

$$T(P_{drop}(k)) = \{BadLow, Good, BadHigh\} = \{BL, GD, BH\}$$

$$\mu_{FE}(N_v(k+1)) = g(N_v(k+1); 0, 0, FE_c, FE_d)$$

$$\mu_{MA}(N_v(k+1)) = g(N_v(k+1); MA_a, MA_b, V_{max}, V_{max})$$

$$\mu_{LO}(P_v(k)) = g(P_v(k); 0, 0, LO_c, LO_d)$$

$$\mu_{HI}(P_v(k)) = g(P_v(k); HI_a, HI_b, 1, 1)$$

$$\mu_{SH}(D_v(k)) = g(P_v(k); 0, 0, SH_c, SH_d)$$

$$\mu_{HI}(P_v(k)) = g(P_v(k); LN_a, LN_b, \infty, \infty)$$

또한,  $P_{drop}(k)$ 의 용어집합 및 멤버십 함수는 예약 하위 프레임 제어기에서 정의된 것을 사용한다. 퍼지 복호 과정은 앞 절에서와 같이 무게중심법을 사용하여,  $(k+1)$ 번째 프레임의 접속 경계값  $R(k+1)$ 를 결정한다.

### 3.3 퍼지 접속 허용 제어기

퍼지 접속 허용 제어기에 사용되는 입력 변수 집합은 다음과 같으며  $\{R(k+1)/m(k+1), N_v(k+1), D_v(k)\}$ .이

로부터 음성의 접속 허용 확률을 결정하며, 데이터는 정해진 순서에 따라 RoundRobin 방식으로 순차적으로 예약 요청을 하게 된다.

$I(k+1) = R(k+1)/m(k+1)$ 를 위한 용어집합은 다음과 같이 정의되며,

$T(I(k+1)) = \{VoicePrior, Fair, DataPrior\} = \{VP, FA, DP\}$  이들의 멤버십 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mu_{VP}(I(k+1)) &= g(I(k+1)); VP_a, V_b, 1, 1) \\ \mu_{FA}(I(k+1)) &= g(I(k+1)); FA_a, FA_b, FA_c, FA_d) \\ \mu_{DP}(I(k+1)) &= g(I(k+1)); 0, 0, DP_c, DP_d) \end{aligned}$$

또한,  $N_v(k+1)$ 과  $D_v$ 의 용어집합 및 멤버십 함수는 접속 경계 제어기에서 정의된 것을 사용한다. 퍼지 복호 과정은 앞 절에서와 같이 무게중심법을 사용하여,  $(k+1)$  번째 음성 접속 허용 확률  $P_v(k+1)$ 를 결정한다

#### 4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 BONEs(Block Oriented Network Simulator)를 사용하여 3장에서 설계한 NFC의 성능 분석을 수행한다. 시뮬레이션에 사용되는 음성과 데이터 통합 시스템의 파라미터들은 참고문헌[5]과 같다.

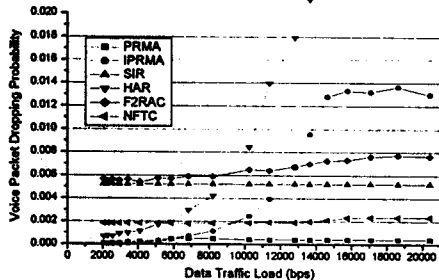


그림 3. 데이터 트래픽 부하에 따른 음성 패킷 손실 확률

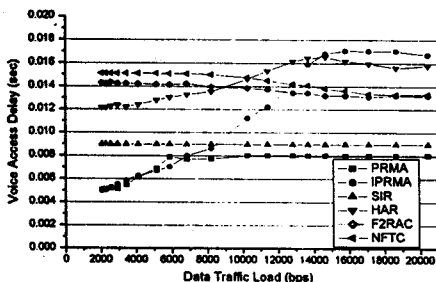


그림 4. 데이터 트래픽 부하에 따른 음성 패킷 지연

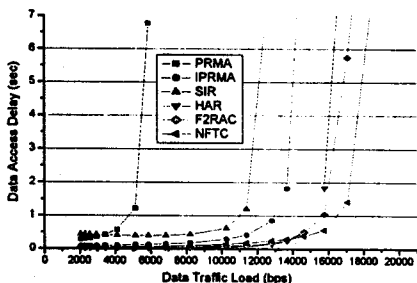


그림 5. 데이터 트래픽 부하에 따른 데이터 패킷 지연

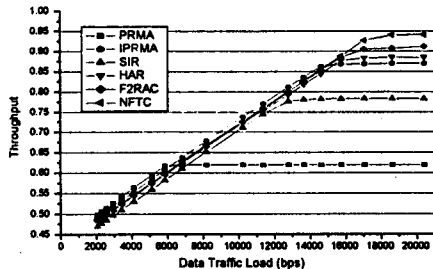


그림 6. 데이터 트래픽 부하에 따른 시스템 자원 사용도

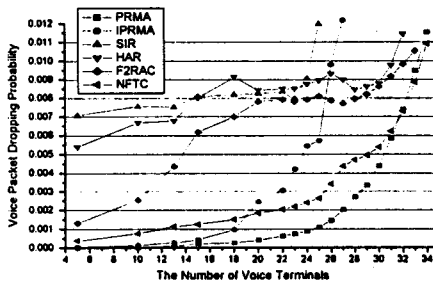


그림 7. 음성 사용자 증가에 따른 음성 패킷 손실 확률

#### 5. 결 론

본 논문은 프레임 구조를 갖는 무선 MAC 프로토콜 상에서 음성과 데이터를 효율적으로 통합하는 뉴로퍼지 제어기(NFC)설계를 고찰하였다. NFC는 RNNs를 이용하여 프레임에 접속할 사용자수를 예측하였으며, 퍼지 논리 제어를 통해 트래픽 부하에 따라 적응적으로 접속 슬롯 수를 조절하고, 또한 음성의 QoS 제약을 만족 하면서 최대한 데이터 트래픽을 수용하기 위해 접속 슬롯들을 양분하였고, 이 때 시간에 따른 제약을 많이 받은 음성 트래픽의 특성에 기인하여 음성에 대한 접속구간과 접속 허용 확률을 결정시 보다 우선적인 권한을 부여하였다. 시뮬레이션 비교실험을 통한 타 시스템들과의 성능 분석을 통해 NFC가 음성의 최대 패킷 손실 확률 0.01을 초과하지 않으면서 최대로 데이터 트래픽을 수용하여, 데이터 패킷의 전송 지연을 낮추고 동시에 시스템 자원의 사용도를 제고시킴을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] D. J. Goodman et al., "Packet reservation multiple access for local wireless communications", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 37, no. 8, Aug. 1989.
- [2] W. C. Wong and D. J. Goodman, "A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission", *IEE Proc.-1*, vol. 139, Dec 1992
- [3] G. Anastasi, D. Grillo, and L. Lenzi, "An access protocol for speech/data/video integration in TDMA based advanced mobile system", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.15, no. 8, Oct. 1997.
- [4] W. -S. Jeon, D. -G. Jeong, and C. -H. Choi, "An integrated service mac protocol for local wireless communication", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, no. 1, Aug. 1998.
- [5] F. -C. Ren et al., "An intelligent transmissin controller for TDMA/PRMA wireless multimedia communication systems". In *Proc. IEEE VTC '99 Fall*