
고속 태그 식별을 위한 Q-알고리즘 최적화 방안

임인택*

A Scheme to Optimize Q-Algorithm for Fast Tag Identification

Intaek Lim*

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된
기초연구사업임(KRF-2008-313-D00876)

요 약

EPCglobal Class-1 Gen-2 충돌방지 기법에서는 Q-알고리즘을 통하여 질의 라운드의 프레임 크기를 결정한다. Q-알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 추정하지 않고 슬롯의 상태만을 이용하여 질의 라운드의 프레임 크기를 계산하므로 다른 DFSA 알고리즘에 비하여 리더의 알고리즘이 단순한 장점이 있다. 반면, Q-알고리즘에서는 프레임 크기를 조절하기 위한 매개변수의 최적화된 값은 정의하지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 최소의 식별시간을 얻을 수 있는 최적의 매개변수 값을 제안하였다.

ABSTRACT

In the anti-collision scheme proposed by EPCglobal Class-1 Gen-2 standard, the frame size for a query round is determined by Q-algorithm. In the Q-algorithm, the reader calculates a frame size without estimating the number of tags in its identification range. It uses only the slot status. Therefore, the Q-algorithm has advantage that the reader's algorithm is simpler than other DFSA algorithms. However, the standard does not define an optimized parameter value for adjusting the frame size. In this paper, we propose the optimized parameter values for minimizing the identification time by various computer simulations.

키워드

RFID, EPCglobal Class-1 Gen-2, 충돌방지 알고리즘, Q-알고리즘

Key word

RFID, EPCglobal Class-1 Gen-2, Anti-collision algorithm, Q-algorithm

* 부산외국어대학교 임베디드IT학과

접수일자 : 2009. 06. 01

심사완료일자 : 2009. 12. 07

I. 서론

리더의 식별영역 내에 다수 개의 태그가 존재할 경우, 모든 태그들은 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 되고 리더의 전송요구에 응답을 한다. 이 때 리더는 동시에 응답한 여러 개의 태그들을 식별해야하는 문제가 발생하는데, 이를 다중 태그 식별 문제라 하고, 다중 태그 식별 문제를 해결하는 기술이 충돌방지(Anti-collision) 알고리즘이다[1][2].

식별영역 내에 있는 태그들을 식별하기 위한 충돌방지 알고리즘으로 EPCglobal Class-1 Gen-2와 ISO/IEC 18000-6 Type C에서는 확률적 알고리즘을 채택하고 있으며, ALOHA 방식을 기반으로 하고 있다[3][4]. 일반적으로 ALOHA 기반인 경우, 프레임의 개념을 추가한 FSA(Framed Slot ALOHA) 방식의 충돌 방지 알고리즘이 널리 사용된다. 대부분의 확률적 알고리즘은 난수 발생기를 사용하여 태그가 응답하는 슬롯을 확률적으로 결정하므로 태그 식별의 완전성에서 제한점이 있다. FSA 알고리즘의 효율을 최적화하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 이 중에서 DFSA (Dynamic FSA) 알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 프레임의 크기를 가변적으로 변화시키는 방식이다[5]. 제안된 대부분의 DFSA 알고리즘은 태그의 수를 추정하여 알고리즘의 성능을 향상시키는 방향으로 연구되어왔다. 그러나 태그 수 추정 알고리즘의 많은 추정 오차로 인하여 최적의 프레임 크기를 할당했음에도 불구하고 알고리즘의 성능이 저하되는 문제점이 있다[6].

EPCglobal Class-1 Gen-2 표준안에서는 Q-알고리즘을 제안했다. 제안된 Q-알고리즘은 태그의 수를 추정하지 않고 최적의 프레임 크기를 할당하기 때문에 다른 DFSA 알고리즘에 비하여 리더의 알고리즘이 비교적 단순한 장점이 있다. 하지만 다음 프레임의 크기를 조절하기 위한 매개변수 C의 값이 최적화되어 있지 않고, 이는 알고리즘 설계자의 몫으로 남아있다. 따라서 본 논문에서는 Q-알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 최적의 매개변수 값을 도출하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 EPCglobal Class-1 Gen-2의 충돌방지 알고리즘을 기술하고, III장에서는 Q-알고리즘에 대하여 살펴본다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 얻은 Q-알고리즘의 성능을 분석하고,

최적의 성능을 얻기 위한 매개변수 C값을 도출하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. EPCglobal Class-1 Gen-2 알고리즘

EPCglobal에서는 960MHz 대역에서 동작하는 Class-1 Gen-2 UHF 대역의 RFID 시스템을 표준으로 제안하였다. EPCglobal Class-1 Gen-2 RFID 시스템에서 리더의 식별영역 내에 있는 다중 태그를 식별하기 위한 충돌방지 알고리즘으로는 프레임 기반 슬롯 ALOHA 알고리즘을 사용한다.

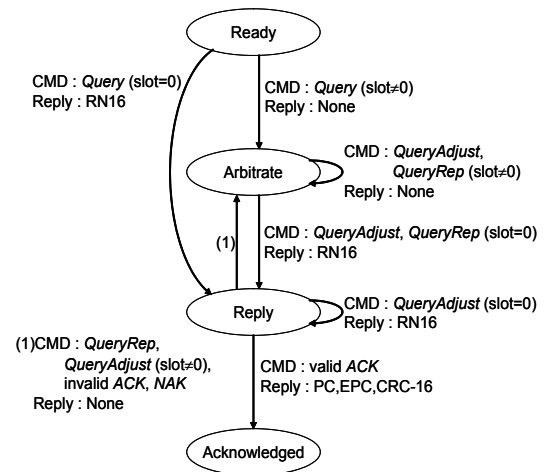


그림 1. 태그 상태 천이도
Fig. 1. Tag state transition diagram.

그림 1은 Gen-2에서의 태그 상태 천이도를 간략하게 나타낸 것이다. 먼저 태그가 리더의 식별영역 안으로 들어오면 Ready 상태가 되고 리더로부터 Query 명령을 받을 때까지 이 상태를 유지한다. 리더로부터 질의 라운드의 시작을 알리는 Query 명령을 수신하면 Query 명령에 있는 Q값을 이용하여 $(0, 2^Q - 1)$ 범위의 임의의 값을 선택하여 슬롯 카운터를 초기화한다. 슬롯 카운터가 0이 아니면 Arbitrate 상태로 천이하고, 0이면 RN16값을 리더로 송신하고 Reply 상태로 천이한다. Arbitrate 상태에 있는 태그는 QueryRep 명령을 받을 때마다 슬롯 카운터를 감소시키며, QueryAdjust 명령을 받으면 Q값을 다시 조정하여 조정된 Q값을 이용하여 임의의 값을 선택

하여 슬롯 카운터를 초기화한다. Reply 상태에 있는 태그가 ACK 명령을 받으면 자신의 <PC, EPC, CRC-16>을 리더로 전송하고 Acknowledged 상태로 천이한다. Acknowledged 상태에 있는 태그들은 리더에 의해서 식별된 상태를 나타내며, 이 후부터는 리더가 태그의 데이터를 읽거나 쓰는 것이 가능하다.

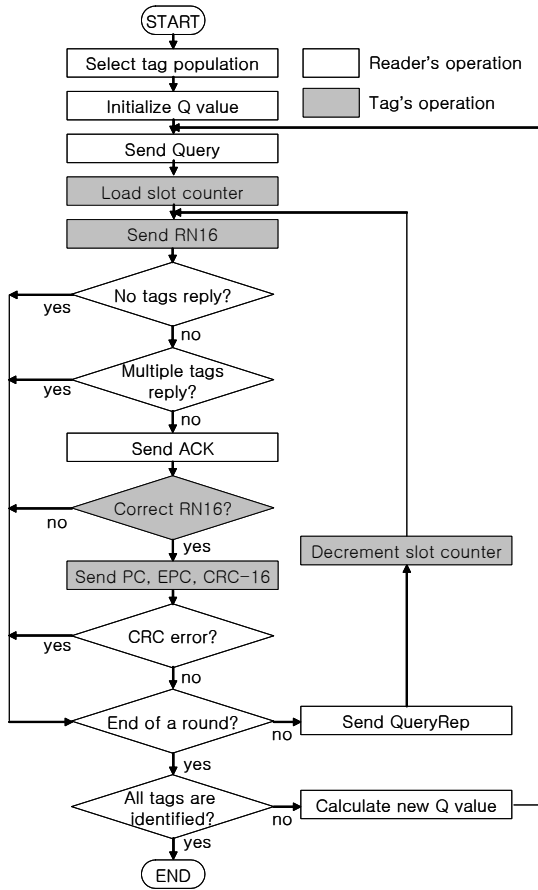


그림 2. Gen-2 충돌방지 알고리즘 흐름도
Fig. 2. Flowchart for Gen-2 anti-collision algorithm.

그림 2는 EPCglobal Class-1 Gen-2에서 제안하는 충돌방지 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다. 먼저 리더는 Select 명령을 전송하여 자신의 식별영역 내에 있는 태그들 중에서 질의 라운드에 참여할 태그들을 선택하고, 초기 Q값을 4로 하여 Query 명령을 전송한다. Query 명령을 수신한 태그들은 Query 명령의 인자인 Q값을 이용하여 $(0, 2^Q-1)$ 범위의 임의의 값을 선택하여 슬롯 카운터를

초기화하고, 슬롯 카운터가 0이면 16비트의 임의의 값인 RN16으로 응답한다. 성공적으로 RN16을 수신한 경우, 리더는 수신한 RN16을 인자로 한 ACK 명령을 전송한다. RN16을 송신한 태그가 자신이 응답한 RN16값과 동일한 값을 갖는 ACK 명령을 수신하면 자신의 <PC, EPC, CRC-16>을 전송하고, 리더는 이를 수신하여 CRC 오류검사를 한다. CRC 오류검사를 통하여 오류가 없는 경우에는 해당 태그를 성공적으로 식별한 것으로 간주한다.

Gen-2 알고리즘에서 한 질의 라운드의 프레임 길이는 2^Q 개의 슬롯으로 구성된다. 따라서 한 질의 라운드가 종료되지 않은 경우, 리더는 QueryRep 명령을 전송하여 다음 슬롯에 대한 식별을 계속한다. 반면, 한 질의 라운드에 대한 모든 슬롯의 식별과정이 종료되었지만 아직 식별되지 않은 태그가 남아있는 경우, 리더는 매 슬롯마다 Q-알고리즘을 통하여 계산한 새로운 Q값을 인자로 한 Query 명령을 전송하여 새로운 질의 라운드를 반복한다.

III. Q-알고리즘

EPCglobal Class-1 Gen-2에서는 한 질의 라운드 동안 태그들이 응답한 슬롯의 상태에 따라 다음 질의 라운드의 슬롯 수를 결정하는 방법으로 Q-알고리즘을 제안하였다. Q-알고리즘은 질의 라운드를 2^Q 개의 슬롯인 프레임으로 구성하여 태그들로 하여금 2^Q 개의 슬롯 중에서 임의의 슬롯으로 응답하게 하여 태그의 충돌을 줄이는 것을 목표로 제시되었다.

그림 3은 EPCglobal Class-1 Gen-2의 Q-알고리즘을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 질의 라운드의 매 슬롯마다 슬롯의 상태에 따라 Query 명령의 인자인 Q값의 실수 값인 Q_p 값을 갱신한다. 만일 슬롯에 충돌이 발생하면 이전의 Q_p 에 C를 더하고, 빈 슬롯이면 이전의 Q_p 에 C를 뺀 값을 Q_p 로 한다. 새로운 질의 라운드가 시작될 때, 리더는 매 슬롯마다 갱신한 Q_p 를 받아들인 값을 Q값으로 하여 Query 명령을 전송한다. 여기서 C는 Q_p 에 더하거나 빼는 값으로써, $0.1 < C < 0.5$ 범위의 값을 가진다. 일반적으로 Q값이 큰 경우에는 C값을 작게 하고, Q값이 작은 경우에는 C값을 크게 하는 것으로 제안하고 있다. 하지만 프레임 기반 슬롯

ALOHA 방식을 사용하는 Gen-2 충돌방지 알고리즘의 성능은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수와 프레임 크기에 많은 영향을 받는다. 따라서 질의 라운드에 참여한 태그의 수에 따라 최적의 C 값을 선택하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

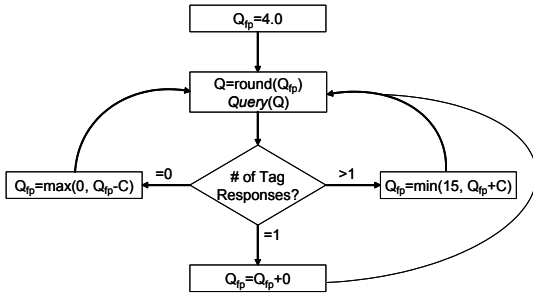


그림 3. Q-알고리즘
Fig. 3. Q-algorithm.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 Gen-2 충돌방지 알고리즘에서 사용하는 Q-알고리즘의 성능을 분석하였다. Q-알고리즘의 성능은 리더가 이전 슬롯의 상태에 따라 질의 라운드의 슬롯의 수를 결정하는 Q_p 값을 증가 또는 감소시키는 매개변수인 C 값에 많은 영향을 받을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 태그 식별시간을 성능 평가 매개변수로 사용하였으며, 태그 식별시간은 모든 태그들을 식별하기 위하여 소요된 총 슬롯의 수로 정의하였다. 또한 시뮬레이션은 SMPL C 언어 라이브러리 [7]를 이용하였으며, 각 태그의 수와 C 값에 따라 100번의 시뮬레이션을 수행하여 이들의 평균값을 결과로 제시하였다.

그림 4는 C 값에 따른 식별시간을 나타낸 것이다. $C=0.5$ 인 경우, 태그의 수가 많을수록 다른 경우에 비하여 빨리 식별할 수 있으며, $C=0.2, 0.3, 0.4$ 인 경우, 태그의 수가 각각 200, 300, 350개 이상이면 식별시간이 급격히 증가한다. 또한 태그의 수가 400개 이상에서는 C 를 0.2부터 0.4까지의 어떠한 값으로 하더라도 거의 비슷한 식별시간을 갖는다.

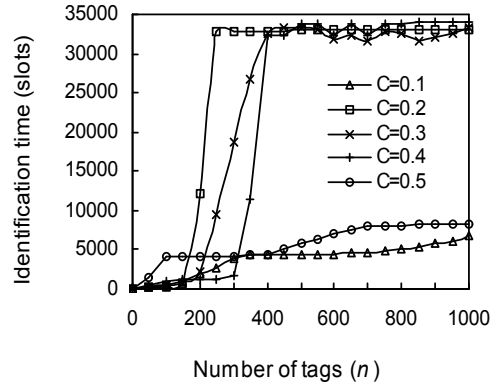


그림 4. C 값에 따른 식별시간
Fig. 4. Identification time according to C value.

그림 5는 태그의 수가 200개 미만인 경우의 식별시간을 나타낸 것이다. C 를 0.1과 0.3으로 할 경우, 거의 비슷한 식별시간을 나타내며, 태그의 수가 130개 이상일 때는 C 를 0.3으로 하면 C 를 0.1로 할 경우에 비하여 식별시간이 조금 빨라지는 것을 알 수 있다. 또한 C 를 0.5로 할 경우, 태그의 수가 40개 이상이 되면 식별시간이 급격히 증가한다.

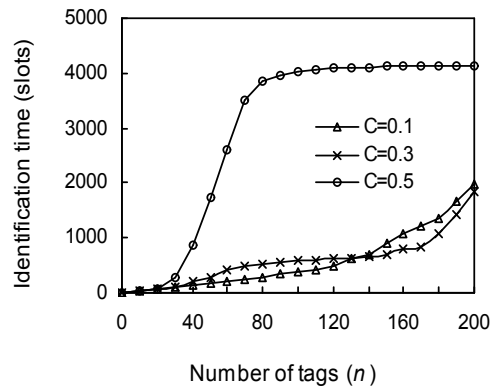


그림 5. $n \leq 200$ 일 때의 식별시간
Fig. 5. Identification time when $n \leq 200$.

그림 6은 태그의 수가 200~400개인 경우의 식별시간을 나타낸 것이다. C 를 0.2, 0.4로 할 경우, 태그의 수가 각각 220개, 340개 이상이면 식별시간이 급격히 증가하고, $C=0.3$ 인 경우, 태그의 수가 200개 이상이면 거의 선형적으로 증가한다. 반면, C 를 0.1과 0.5로 할 경

우, 태그의 수와 무관하게 거의 일정한 식별시간을 나타낸다.

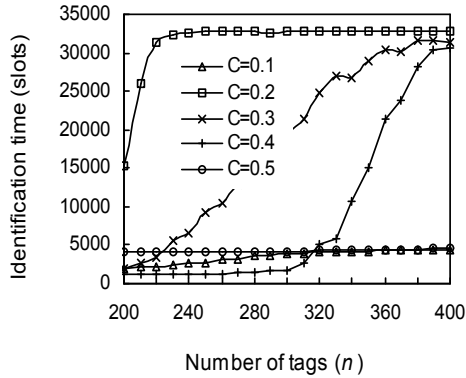


그림 6. $200 \leq n \leq 400$ 일 때의 식별시간
Fig. 6. Identification time when $200 \leq n \leq 400$.

이상에서 살펴본 바와 같이 Gen-2 충돌방지 기법의 성능은 Q-알고리즘의 매개변수인 C값과 식별영역 내에 있는 태그의 수에 많은 영향을 받을 수 있다. 그림 7은 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 최적의 식별시간을 얻기 위한 C값을 나타낸 것이고, 이에 대한 결과를 표 1에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 Gen-2 충돌방지 기법이 최적의 성능을 얻기 위해서는 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 적절한 C값을 선택할 필요가 있다.

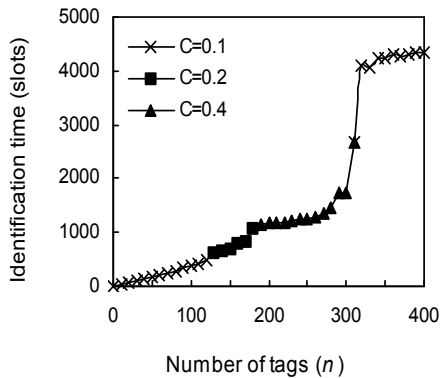


그림 7. 최적의 식별시간
Fig. 7. Optimal identification time.

표 1. 태그 수별 최적의 C값
Table 1. Optimal C value for various n.

태그의 수 (n)	C
$n \leq 120$	0.1
$121 \leq n \leq 180$	0.2
$181 \leq n \leq 310$	0.4
$311 \leq n \leq \infty$	0.1

Gen-2 Q-알고리즘의 매개변수 C값을 선택하는 방법으로 Wang[8]이 제안한 방법이 있다. Wang이 제안한 방법은 충돌이 발생할 경우 프레임 길이를 길게 하고, 빈 슬롯이 발생할 경우에는 프레임 길이를 짧게 하여 빠른 식별을 하고자 하였다. 이를 위하여 충돌 슬롯과 빈 슬롯의 평균 길이를 계산하고, 빈 슬롯이 발생할 경우에는 Q_p 를 C만큼 감소시키고, 충돌이 발생할 경우에는 Q_p 를 C만큼 증가시키는 방법을 사용하였다. Wang이 제안한 C1과 C2는 다음과 같다.

$$C1 = 0.1 \tag{1}$$

$$C2 = \min(1.0, C1 * Ave_T_{coll} / Ave_T_{idle}) \tag{2}$$

여기서 Ave_T_{coll}과 Ave_T_{idle}은 충돌 슬롯과 빈 슬롯의 평균 길이를 나타낸 것이다.

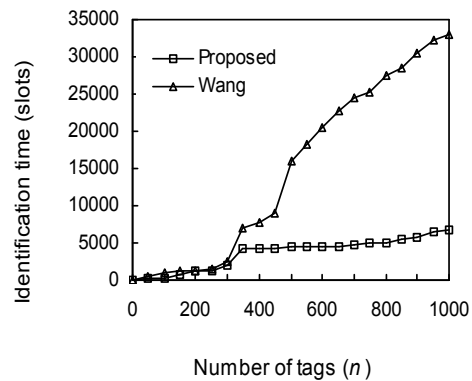


그림 8. Wang 방법과 비교
Fig. 8. Comparison with Wang.

그림 8은 본 논문에서 시뮬레이션을 통하여 얻은 최적의 C값을 갖는 경우와 Wang이 제안한 C값을 이용하여 식별 시간을 비교한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같

이 태그의 수가 적은 경우에는 두 방법 모두 비슷한 식별 시간을 나타내지만, 태그의 수가 많은 경우에는 본 논문에서 제안한 방법이 Wang이 제안한 방법에 비하여 빠른 식별시간을 나타냄을 알 수 있다. 이는 Wang이 제안한 C값은 식별영역 내에 있는 태그의 수와 무관하게 항상 일정한 값을 갖기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 EPCglobal Class-1 Gen-2에서 제안한 충돌방지 기법에 적용한 Q-알고리즘의 매개변수를 최적화하는 방안을 제시하였다. Gen-2 알고리즘에서 질의 라운드의 슬롯 수를 나타내는 Q값은 Q-알고리즘에서 결정된다. Q-알고리즘은 질의 라운드의 매 슬롯마다 슬롯의 충돌 여부에 따라 실수 값을 갖는 Q_{eff} 값에 매개변수 $C(0.1 < C < 0.5)$ 만큼 증가 또는 감소시켜서 슬롯의 수를 결정한다. 하지만 Gen-2에서의 C값은 최적화되어있지 않고, 이는 알고리즘 구현자의 몫으로 남아있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 태그의 수에 따라 최소의 식별시간을 얻을 수 있는 최적의 C값을 도출하였다.

참고문헌

[1] K. Finckeneller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2002.

[2] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing, LNCS*, vol.2414, pp.99-113, Springer-Verlag, 2002.

[3] EPCglobal, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocols for Communication at 860 MHz-960MHz, Ver.1.1.0," *EPCGlobal Inc.*, Dec. 2005.

[4] ISO/IEC, "Information Technology - Radio Frequency Identification for Item Management - Part 6: Parameters for Air Interface Communication at 860-960 MHz, 19000-6," *ISO/IEC*, 2006.

[5] K. Romer, T. Schoch, F. Mattern, and T. Dubendorfer, "Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications," *Kluwer/ACM Wireless Networks(WINET)*, vol.10, no.6, Dec. 2004.

[6] W. Chen, and G. Lin, "An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in a RFID System," *IEICE Trans Commun.*, vol.E89-B, no.12, pp.3386-3392, Dec. 2006.

[7] M. H. MacDougall, *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.

[8] C. Wang, M. Daneshmand, K. Sohraby, "A New Slot-Count Selection Algorithm for RFID Protocol," *Proc. of ChinaCom2007*, Aug. 2007.

저자소개



임인택(Intaek Lim)

1984년 2월 울산대학교
전자계산학과 (공학사)
1986년 2월 서울대학교
계산통계학과 (이학석사)

1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
1986년 1월~1993년 2월 : 삼성전자(주) 특수연구소
선임연구원
1993년 3월~1998년 2월 : 동부산대학 전자계산과
조교수
1998년 3월~현재 : 부산외국어대학교 임베디드IT학과
교수

※ 관심분야 : MAC 프로토콜, RFID, 센서네트워크