

# 극다중 무선 IoT 네트워크용 동적 그룹페이징 기법

장한승, 정방철  
충남대학교 공과대학 전자공학과  
e-mail : jhanseung@gmail.com, bcjung@cnu.ac.kr

## Dynamic Group Paging Mechanism for Massive IoT Networks

Han Seung Jang and Bang Chul Jung  
Department of Electronics Engineering  
Chungnam National University

### Abstract

In this paper, we propose a dynamic group paging (DGP) mechanism for massive IoT devices, which adaptively adjusts the attempting probability of random access (RA) by considering not only the number of available PAs but also the number of available physical uplink shared channel (PUSCH) resources. Through extensive computer simulations, we show that the proposed DGP mechanism outperforms the conventional access control schemes that consider only the number of available preambles in terms of the group paging completion (GPC) time, PUSCH resource efficiency, and the energy efficiency.

### I. 서론

셀룰러 사물인터넷 (IoT) 시스템은 수많은 IoT 단말기를 셀 안에서 서비스하기 위한 5세대 이동통신의 핵심 응용기술 중 하나이다[1]. 각 단말기들은 자신의 데이터전송을 마친 후에 배터리 소모를 줄이기 위하여 유휴 상태 (idle mode)를 유지하며 데이터 전송이 필요할 때 다시 기지국과 임의접속(random access)과정을 거쳐 데이터를 전송한다. 동시에 임의접속을 시도하려는 단말기가 늘어날 경우 임의접속 과부하(overload)가 발생하며 기지국은 다양한 방법들을 통해 이를 완화하고자 한다. 대표적인 방법으로 access class barring (ACB) 기법[2]이 있으며 이는 기지국이 수용할 수 있는 정도의 노드만을 수용하기 위해 접속확률 값 또는 백오프 값을 방송하여 셀 안의 접속 과부하를 줄이도록 한다. 또 다른 한편으로 기지국에서 그룹 페이징 신호를 내려 보내 특정 그룹단말기들의 접속을 허용하는 방식인 그룹 페이징 기법이 존재한다. 그룹에 속한 모든 단말기들은 동일한 그룹 아이디를 가지고 있으며 그룹 아이디를 포함한 페이징 신호가 내려올 경우 모든 그룹단말기들은 네트워크 접속을 시도한다. 그러나 기존의 그룹페이징 기법[3,4]에서는 단지 이용 가능한 프리엠블 자원의 양만을 고려하여 과부하를 조절 하였으며 이는 상향링크 자원의 낭비와 그룹페이징을 마치는 데 걸리는 시간의 증가를 일으킨다. 본 논문에서는 프리엠블 자원과 상향링크 자원의 양을 동시에 고려한 새로운 그룹페이징 기법을 제안하고 이를 통해 그룹페이징 완료시간, 자원이용 효율, 단말기 에너지 효율 관점에서 효과를 보인다. 실험결과를 통해 제안된 기법은 상향링크자원의 양이 불충분할 경우에 큰 성능 이득을 보임을 확인할 수 있다. 이는 무선 네트워크 사업자들에게 그룹 IoT 단말들을 서비스 할 때 그룹 페이징 완료 시간, 무선자원효율, 에너지 효율 관점에서 요구하는 성능을 얻을 수 있는 유용한 설계 정보를 제공한다.

### II. 시스템 모델

동일한 그룹에 속한  $N_G$  개의 노드들은 동일한 그룹 ID를 갖으며 페이징 신호를 통해 동시에 깨어나며 임의접속을 시도하게 된다. 페이징 신호를 받은 후  $T$ 시간을 주기로 그룹을 위한 임의접속 기회가 주어지고 그룹 임의접속 기회마다  $N_{PA}$  개의 프리엠블과  $V$  개의 상향링크 자원을 이용가능하다. 그룹의 동시 임의접속 노드의 수를 접속 시도확률 값을 조절하여 제어하는데  $i$ 번째 접속기회에 이용되는 접속 확률 값은  $p(i)$ 이며 각 노드들은 0과 1사이의 임의의 값  $q$ 를 뽑은 다음  $q < p(i)$  일 경우 접속을 시도하며 그렇지 않을 경우 접속을 시도 하지 않고  $(i+1)$ 번째 기회를 기다린다.  $i$ 번째 기회에 임의접속에 성공한 노드의 수를  $M(i)$ 로 명명하며  $i$ 번째 접속 기회까지 접속에 성공하지 못한 (backlogged) 노드의 수는 다음과 같이 계산한다.

$$N_{\text{backlog}}(i) = N_G - \sum_{j=1}^i M(j)$$

### III. 제안하는 동적 그룹페이징 기법

$n$ 이 접속확인에 통과하여 ( $q \leq p(i)$ )  $i$ 번째 접속 기회에 접속을 시도하는 노드의 수일 때 특정 프리엠블이 충돌 없이 성공적으로 전달되는 확률은 다음과 같고

$$P_s(n) = n \left( \frac{1}{N_{PA}} \right) \left( 1 - \frac{1}{N_{PA}} \right)^{(n-1)}$$

평균적인 성공 프리엠블 수는  $N_s(n) = P_s(n)N_{PA}$ 로 계산된다. 다음으로 특정 프리엠블이 검출될 확률은

$$P_d(n) = 1 - \left( 1 - \frac{1}{N_{PA}} \right)^n$$

이며 평균적인 검출 프리엠블 수는  $N_d(n) = P_d(n)N_{PA}$ 로 계산된다. 그림 1에서  $N_{PA} = 64$ 이고  $V_1 = 50$ 인 경우와  $V_2 = 30$ 인 경우에 성공 프리엠블 수와 검출 프리엠블 수를 보여준다.  $N_s(n)$ 는  $dN_s(n)/dn = 0$ 의 해 값  $n^* = -1/\ln(\alpha)$ 에서 최대 값을 갖으며  $\alpha$ 는  $(1 - 1/N_{PA})$ 이다.  $n^*$ 값을 초과할 경우 성공 프리엠블 수가 감소하므로 우리는  $n < n^*$  영역만을 고려한다. 기지국은 임의접속 첫 단계에서 프리엠블의 충돌여부를 확인하기 어려워 검출된 모든 프리엠블에게 상향링크 자원을 할당한다. 따라서 이용 가능한 상향링크 자원이  $V$ 일 때 성공 프리엠블에 할당되는 상향링크 자원의 수는

$$V_s(n, V) = \begin{cases} N_s(n) & \text{if } N_d(n^*) \leq V, \\ V \times \frac{N_s(n)}{N_d(n)} & \text{if } N_d(n^*) > V, \end{cases}$$

이고 여기서  $V_s(n, V)$ 는 임의접속에 성공한 노드 수  $M(i)$ 와 같다. 기존 임의접속 제어 방법들에서는 프리엠블자원 만을 고려하여 항상  $n^*$ 개의 노드들이 접속 할 수 있도록 접속 확률 값을 설정하였다.

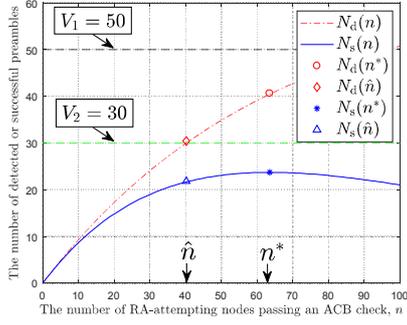


그림 1. 상향링크 자원의 수가 50과 30인 경우의 충돌 없이 성공적으로 전송된 프리앰블 수와 검출된 프리앰블의 수

하지만 제안하는 기술에서는 상향링크 자원이 충분한  $N_d(n^*) \leq V$  인 ( $V_1 = 50$ ) 경우에는 기존 기술과 동일하게 최대  $N_s(n^*)$ 개의 임의 접속 성공 노드를 목표로  $N_{\text{backlog}}(i-1)$ 개의 노드 중  $n^*$ 개의 노드만이 접속에 시도하도록 다음과 같이 접속 확률 값을 설정하게 된다.

$$p^*(i) = \min \left[ \frac{-1}{N_{\text{backlog}}(i-1) \ln \alpha}, 1 \right]$$

이와 반대로  $N_d(n^*) > V$  인 ( $V_2 = 30$ ) 경우에는  $V = N_d(n)$ 의 해  $\hat{n} = \ln(1 - V/N_{\text{PA}}) / \ln \alpha$ 를 구하며 이는  $V_s(n, V)$  값을 최대화 시킨다. 이때는  $N_{\text{backlog}}(i-1)$ 개의 노드 중  $\hat{n}$ 개의 노드만 접속 할 수 있도록 다음과 같이 접속 확률 값을 설정하게 된다.

$$\hat{p}(i) = \min \left[ \frac{-\ln(1 - V/N_{\text{PA}})}{N_{\text{backlog}}(i-1) \ln \alpha}, 1 \right]$$

#### IV. 성능결과

우리는 그룹 페이징 완료시간, 자원이용효율, 에너지이용효율 관점에서 제안된 기술의 성능을 보인다. 그룹 페이징 완료시간은 그룹 안에 속한 모든 단말들이 접속을 완료하는데 걸리는 총 시간이다. 자원 이용효율은 그룹 페이징을 위해 사용된 총 상향링크 자원과 접속성공에 사용된 자원의 비율로 정의된다. 마지막으로 에너지 이용효율은 각 노드들이 사용하는 총 에너지양 중에 접속에 성공할 때 필요한 에너지양의 비율로 정의한다.  $i$ 번째 접속기회에서 임의접속에 성공한 노드 수는 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$M(i) = \sum_{n=0}^{N_{\text{backlog}}(i)} V_s(n, V) \binom{N_{\text{backlog}}(i)}{n} p(i)^n (1-p(i))^{(N_{\text{backlog}}(i)-n)},$$

여기서  $\binom{a}{b}$ 는 이항계수를  $p(i)$ 는  $i$ 번째 접속기회의 접속확률 값을 의미한다.  $M(i-1) \approx M(i)$ 임에 따라 평균 그룹 페이징 완료시간은  $T_{\text{GP}} = T \cdot N_C / M$ 으로 얻을 수 있다. 표 1에서는 실험에 이용된 변수 값을 보여주며 그림 2(a)에서 그룹페이징 완료시간을 보여준다. 기존 기술보다 최대 약 20초의 시간 단축 값을 보이며 상향링크 자원이 충분한 경우( $V \geq 40$ )에 기존기술과 제안기술의 그룹페이징 완료시간이 동일해짐을 볼 수 있다. 다음으로 기존 기술의 상향링크 자원 이용률은  $V$ 값에 관계없이  $\eta_{\text{PUSCH}}^{\text{conv}} = N_s(n^*)/N_d(n^*)$ 으로 항상 일정한 값을 갖게 되지만  $N_d(n^*) > V$ 인 상황에서 제안기술의 상향링크 자원 이용률은  $\eta_{\text{PUSCH}}^{\text{conv}} = N_s(\hat{n})/N_d(\hat{n})$  값을 갖게 된다. 에너지 이용 효율은  $\eta_{\text{ee}} = (E_{\text{PA}} + E_{\text{S3}}) / \bar{E}(n)$  값으로 계산할 수 있으며  $E_{\text{PA}}$ 과  $E_{\text{S3}}$ 은 각각 프리앰블전송과 상향링크 데이터 전송에 사용되는 에너지양을 의미하며  $\bar{E}(n)$  값은 임의접속에 성공하는데 사용된 평균 에너지양을 의미하며 자세한 계산 방법은 [5]에서 얻을 수 있다. 그림 2 (b)에서 자원이용효율과 에너지 효율 값을 동시에

표 1. 시뮬레이션 변수 및 값

변수	값
총 그룹 노드 수	10000
상향링크 자원 수 $V$	10~50
프리앰블 자원 수 $N_{\text{PA}}$	64
그룹 접속 기회 주기 $T$	50 ms

표 2. 동일한 그룹페이징 완료시간을 위한 성능비교

완료 시간	기존기술			제안기술		
	$V$	$\eta_{\text{PUSCH}}^{\text{conv}}$	$\eta_{\text{ee}}^{\text{conv}}$	$V$	$\eta_{\text{PUSCH}}^{\text{prop}}$	$\eta_{\text{ee}}^{\text{prop}}$
20sec	40	10000/17241	0.37	40	10000/17241	0.37
40sec	21	10000/17241	0.27	16	10000/11582	0.75
60sec	14	10000/17241	0.23	10	10000/10814	0.82

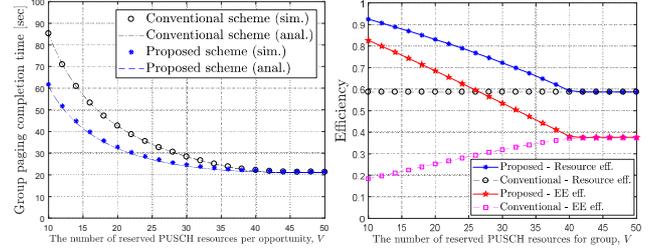


그림 2. (a) 그룹 페이징 완료시간, (b) 자원이용효율과 에너지 효율

보여준다.  $V < 40$  상황에서 제안기술은 자원이용과 에너지 이용 효율관점에서 우월한 성능을 보임을 확립 할 수 있다. 표 2에서 요구하는 그룹 페이징 완료시간에서의 필요한 상향링크 자원의 양과 각 효율 값을 비교하고 있다. 제안기술에서는 그룹페이징 완료시간과 자원의양, 자원이용효율, 에너지 이용효율간의 상충 관계(trade-off)가 존재함을 알 수 있다. 더욱 짧은 시간으로 그룹페이징을 완료하기 위해서는 더욱 많은 자원을 그룹페이징을 위해 할당해야하고 자원이용률과 에너지 이용률에서 손해를 보게 된다. 따라서 무선 사업자들은 원하는 목표에 맞게 그룹페이징 방식을 조절해야함을 알 수 있다.

#### V. 결론

본 연구에서는 프리앰블자원과 상향링크자원을 동시에 고려한 동적 그룹페이징 방식을 제안하였다. 제안된 기술은 그룹페이징 완료시간, 자원이용효율, 에너지 이용효율관점에서 기존 기술보다 월등히 뛰어난 성능을 보였다. 제안된 방식을 통해 셀룰러 IoT 시스템의 그룹 페이징 및 그룹 데이터 수집 방식 등의 개선이 가능할 것이다.

#### Acknowledgement

본 논문은 2016년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2016R1A2B4014834)

#### 참고문헌

- [1] M. R. Palattella *et al.*, "Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 3, pp. 510-527, March 2016.
- [2] S. Y. Lien *et al.*, "Cooperative Access Class Barring for Machine-to-Machine Communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 27-32, January 2012.
- [3] O. Arouk *et al.*, "Group paging-based energy saving for massive MTC accesses in LTE and beyond networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 5, pp. 1086 - 1102, May 2016.
- [4] R.-G. Cheng *et al.*, "A dynamic resource allocation scheme for group paging in LTE-advanced networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 2, no. 5, pp. 427 - 434, Oct 2015.
- [5] H. S. Jang *et al.* "An Early Preamble Collision Detection Scheme Based on Tagged Preambles for Cellular M2M Random Access," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 66, no. 7, pp. 5974-5984, July 2017.