

핫스팟지역에서 협동방식 블루투스기지국의 제안과 성능분석

김동원*, 조동욱*, 류원**

*충북과학대학 정보통신과

**한국전자통신연구원 유무선인터넷정합팀

e-mail:won@ctech.ac.kr

A Proposal of Collaborating Bluetooth Basestation in Hot Spot Area with Its Performance Analysis

Dong-won Kim*, Dong-uk Cho*, Won Lyu**

*Dept of Information & Communications Engineering, Chung-buk
Provincial University

**Wire & Wireless Internet Interworking Team, ETRI

요 약

가까운 장래에 산가격의 블루투스가 여러 가지 이동, 휴대 장치에 내장되어 다양한 응용서비스를 제공할 것이다. 본 논문에서는 공항이나 쇼핑 물동 사람들이 많이 몰리는 공공장소와 같은 핫스팟(hot spot) 지역에서 블루투스 기지국을 통한 음성서비스 제공을 위하여 다수의 기지국을 유선 LAN으로 협동시켜 각각 기지국별로 따로 제공되던 음성 채널들을 집합화(aggregation)함으로써 보다 많은 음성 서비스 채널들을 동시에 수용할 수 있는 방법을 제시하고 성능을 분석하였다. 단독으로 동작하는 기지국은 ACL 채널을 사용하는 경우 7개까지의 채널 수용이 가능하므로 이상적인 경우에서도 오버랩 영역의 기지국의 개수가 n 이면 $7n$ 만큼 채널의 증가가 가능한 반면, 협동으로 동작하면 블록킹 용도 개선되면서 집합화된 채널들을 보간(interpolation) 기법을 통한 통계적 사용으로 음성 패킷의 허용 손실 범위내에서 음성채널의 수를 약 $14n$ 정도까지 확장할 수 있다. 또한 음성전송과 데이터 전송이 혼합 서비스 될 때 수용하는 음성 채널의 수에 따른 데이터 전송지연시간 특성을 분석하였다.

1. 개요

과거에 첫 번째 블루투스 제품은 전선의 대응으로써 포인트-투-포인트 연결을 가능케한 간단한 제품들이 시장에 등장하였다. 그러면서 블루투스 칩의 가격이 계속 하락하게 되면서 여러 가지 새로운 응용이 가능하게 되고 있다.

첫째로 인기를 끌고 있는 응용제품은 핸드프리 헤드셋에서 점차 셀룰러 폰과 같은 다른 장치에도 응용되어 공중 음성/데이터 액세스가 가능한 피코 셀룰러 시스템의 구축이 가능케 될 것이다. 이때 기존 빌딩내 인터넷 네트워크는 미래의 피코 셀룰러 액세스 네트워크에 대한 기반구조 네트워크로 활용될 것이다. 이러한 예로서 공항이나 쇼핑물동의 휴대폰 라운지등과 같은 공공영역에서 피코 셀룰러 시스템 구축을 말할 수 있다. 향후 이러한 싼 비용의 공중 피코 셀룰러 네트워크는 3G 셀룰러와 경쟁을 통해 셀룰러 시장을 공유 발전해 나가게 될 것이다.

블루투스 표준[1,2]을 간단한 코드리스 폰의 예를 놓고 살펴보면 3개의 64Kbps SCO 음성채널을 수용할 수 있거나 7개까지의 ACL 채널을 보코더 기술을 이용하여 음성채널로 수용할 수 있다. 코드리스 폰은 관련된 기지

국과 사전 형상설정이 되며, 비활성 핸드셋은 park 모드로 기지국에 속하여 있고 착신, 발신 호를 기다리게 된다.

블루투스 표준의 제약으로 인해 여러가지 응용에서 블루투스 라디오의 용량을 집합화(aggregation)할 필요가 생겨났다. 블루투스 표준상 SCO 채널은 3개까지 ACL 채널은 7개까지 수용가능한데 반해 핫스팟 지역에서는 보다 많은 동시 채널이 필요할 것이며 이를 수용하기 위해 여러 개의 블루투스 기지국(BBS:Bluetooth Base Station)를 둔다든지 하는 방법으로 채널 수를 늘리는 방법을 써야 할 것이다. 이때 각 BBS별 채널이 독립적으로 운용되는 것 보다 집합화하는 것이 보다 효율적으로 알려진다[3]. 이러한 집합화 방법으로 다음과 같은 2가지를 고려할 수 있다.

첫째로 멀티칩 기지국을 구축하는 것으로 이것은 개념적으로는 간단하지만 두 개 이상의 라디오가 근거리엔 인접해 있을 경우 송신 라디오가 수신 모드에 있는 다른 입력을 포화시키지 않도록 주의가 필요하다. 가능한 해결책은 블루투스 칩들간의 슬롯 타이밍의 동기를 맞추는 것이다. 그리하여 업/다운 전송이 동시에 일어나지 않게 하는 것이다.

다른 방법은 단순한 단일 라디오 블루투스 기지국을 여러 개 관한 영역을 중첩시켜 구축하는 방법으로써 보다 자연스러운 구축 방법이다.

본 논문에서는 이러한 두 번째 방법으로 협동 BBS 시스템을 구축하고 음성서비스 제공을 위하여 다수의 기지국을 유선 LAN으로 연결시켜 각각 기지국별로 따로 제공되던 음성 채널들을 집합화(aggregation) 함으로써 보다 많은 음성 서비스 채널들을 동시에 수용할 수 있는 방법을 제시하고 손실율을 분석하였다. 또한 음성전송과 데이터 전송이 혼합 서비스 될 때 수용하는 음성 채널의 수에 따른 데이터 전송지연시간 특성을 분석하였다.

2. 기본 블루투스 기지국 동작

원래의 블루투스 텔레포니 포로파일(telephony profile)은 그림 1와 같이 각 BBS(Bluetooth Base Station)가 독립적으로 동작한다. BM(Bluetooth Mobile)이 자신의 관한 영역으로 들어오면 BM은 Inquiry/Page 절차를 거쳐 BBS와 관련association이 된다. 그림에서 BBS1과 BBS2는 이러한 처리절차의 단계를 보여주고 있다. 새로 도착한 BM은 inquiry를 수행한다. BBS1이 현재 Inquiry Scan 모드에 있다. 성공적인 Inquiry의 뒤를 따라서 BM은 BBS1을 page한다. BBS2는 현재 BM에 의해 page되고 있다. 뒤이어서 BM은 모바일의 오리지널 Inquiry에 응답하는 BBS에 park 하게 된다. 일단 BM이 park하면 Bm은 unpark 메카니즘을 이용하여 음성 연결을 송수신할 수 있다. BBS3은 두 개의 SCO 링크를 가진 BBS를 보여주고 있는데 여러개의 park 된 BM들이 관계되고 있음을 보여준다. 이러한 구성에서는 3번째 SCO 링크가 사용되고 나면 park된 BM들은 호를 시작하거나 수신하는 것이 블록킹된다. 즉, 한 기지국에 3개의 SCO 링크가 연결되어 있다면 더 이상 라디오가 이용가능하지 않으므로 Inquiry/Paging, node registration 및 call notification이 불가능하다. 따라서 다른 기지국에서 사용하지 않는 여분의 용량이 있더라도 호가 블록킹될 것이다.

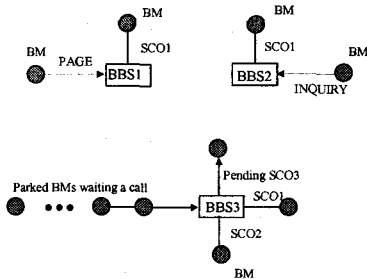


그림 1. 표준 블루투스 기지국의 구성 및 동작

그림2에서처럼 BBS에서는 주기적으로 노드 발견을 위한 절차를 시작하고 매 2.56초마다 wakeup 절차가 구동된다. 노드 discovery는 새로운 BM을 identify하기 위해 사용되며 새로 발견된 BM은 시스템에 등록된다. 하지만 BBS가 한 개 이상의 SCO 링크를 연결하지 않은 상태에서 discovery가 단지 유효하다. discovery 구간동안 BBS는 inquiry scan을 수행하고 뒤이어서 page scan을 수행한다. 그래서 inquiring BM은 ACL 연결을 위해

BBS를 page할 수 있다. 역할의 교체후 BM은 새로운 슬레이브가 되고 그때 BBS는 노드를 park하게 된다.

한번 BM이 park하고 나면 이는 주기적으로 wakeup 되어야만 한다. 왜냐하면 호가 설정되어질 필요가 있는 지를 결정하기 위하여서 이다.

wakeup 절차는 BBS가 2개 보다 더 많은 SCO 링크가 진행 중이지 않을 때 단지 유효하다. wakeup 구간 동안 각각의 BM을 차례로 unpark하고 호가 대기 중인 것이 있는지 검사한다.

호 요청이 있을 경우 BBS는 이 모바일을 위하여 SCO 링크를 하나 추가할 것이고 그렇지 않으면 re-park 된다. wakeup은 BBS가 3개의 SCO 링크보다 적게 갖는 한 계속될 것이다.

호가 끝나면 BBS는 SCO 링크를 하나 제거하고 그 BM을 park 할 것이다.

ACL 링크를 사용하더라도 마찬가지로 7개까지의 ACL 링크를 허용하게 되고 나머지 BM은 park 될 것이다.

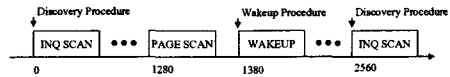


그림 2. 블루투스 동작 절차

3. 호접속제어 기능을 가진 협동 블루투스 기지국 제안

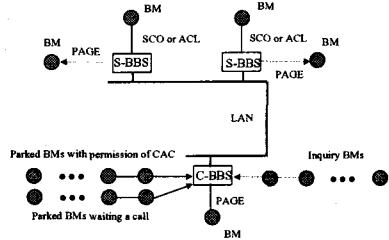


그림 3. 호접속제어기능을 가진 협동 BBS 동작

그림 3에서처럼 기지국은 호접속제어(CAC:Call Admission Control) 기능을 가진 중심기지국(C-BBS)과 중심기지국으로 부터의 unpark에 의한 정보를 갖고 BM과 음성 트래픽의 채널을 처리하는 서비스 기지국(S-BBS)들로 구성된다. 이들 기지국들은 유선 백본 LAN 등으로 상호 연동하며 중심기지국의 제어를 받는다.

관할 영역 내로 들어오는 모든 BM은 중심 기지국과 Inquiry/Page를 통해 park 할 것이며 park 된 BM은 주기적으로 새로운 호의 수락을 허용하는 wakeup 절차에서 깨어나서 서비스 기지국의 슬레이브로 링크를 연결하게 된다.

서비스 기지국들과 링크를 통해 서비스 되던 BM들이 silent가 되면 hold, sniff의 전력절약 모드로 동작할 수 있지만 본 논문에서는 park 모드로 멤버주소를 해제시켜 주어 park되어 있던 다른 채널들에게 서비스 기회를 주게 된다. 그렇지만 자기 자신은 계속 호핑순서에 동기를 맞추고 있으며 talkspurt 가 되면 unpark wakeup 루틴에서 깨어나게 된다. 따라서 그림 4에서 처럼 블루투스

모바일이 어떤 지역에서 기지국에 park되는 경우는 2가지가 있다. Inquiry/page 되어 park되는 경우와 호설정이 되어 있는 상태에서 silent 구간에 들어갈 때 park 모드로 들어가는 두가지 경우를 고려한다. 호수락제어기능에서 한계 범위내에 있을 경우에는 새로운 호 설정을 요구하는 노드들 명단에서 unpark 후 활성화 시킨다. 호수락 제어 한계를 초과하면 더 이상 새로운 호 설정의 수락은 허용하지 않고 활성화 노드들중 silent로 인해 park 모드로 들어간 노드들을 unpark하면서 활성화 여부를 검사한다.

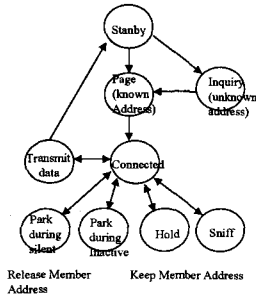


그림 4. Connection State Machine

4. 성능분석

본 논문에서 제안한 호점속제어기능을 가진 협동 블루투스 기지국의 연동 모델에 대한 성능 분석을 위하여 다음과 같이 가정한다.

4개의 블루투스 기지국이 동일 영역을 관할하는 것으로 가정하고, G.723.1 보코더를 사용하는 경우 가정하여 6.3Kbps일 경우 20ms 동안 126 비트 프레임을 발생시키고 이는 DM1 패킷타임을 이용하여 전송가능하므로 매 20ms 마다 DM1 패킷을 전송한다고 가정한다. 이때 7개의 ACL 음성 링크에 의해 8.75ms가 점유되고 나머지 11.25ms가 paging function을 위해 사용되어진다. 그림 5에서 4개의 기지국의 라디오 링크의 동작 모델을 나타내었다.

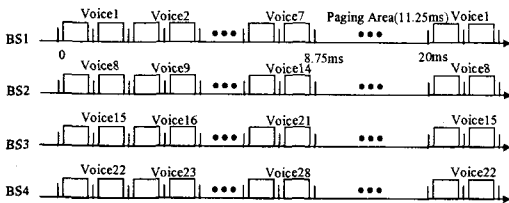


그림5. 4개의 기지국을 통한 ACL 링크의 동작

음성 보간 기법으로 ACL 음성 패킷을 서비스 할 때 발생하는 손실율(cutout fraction)은 다음식(1)으로 표현된다[4].

$$\phi = \frac{1}{np} \sum_{k=c+1}^n (k-c) \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (1)$$

여기서 n은 음성소스의 개수를 나타내며 c는 채널의 개수를 나타낸다. p는 어떤 임의의 순간에 음성소스가 발

성이되고 있을 확률을 의미하며 다음식(2)으로 표현될 수 있다.

$$p = \frac{1/\mu}{1/\lambda + 1/\mu} = \frac{\lambda/\mu}{1 + \lambda/\mu} \quad (2)$$

여기서 $1/\lambda$ 는 목음부의 평균길이이며 $1/\mu$ 는 발성부의 평균길이 이다. 평균 목음부의 길이는 650ms이고 평균 발성부의 길이는 350ms로 가정한다[4].

그림 6은 기지국 4개를 협동으로 동작시킬 때 통화시스템에는 최대 28개까지의 ACL 음성채널이 존재할 때 음성채널로 할당할 수 있는 채널의 개수 c를 28개, 24개, 20개, 16개로 변화시키면서 각 음성소스는 SAD(Speech Activity Detector)를 사용하여 발성부동안 패킷을 발생시키고 목음부동안 park모드로 들어가는 동작을 할 때 CAC에서 수락한 음성통화수를 변화시키면서 손실율을 계산하였다. 음성통화에 있어서 보통 0.5% 이하의 음성정보가 손실이 생겨도 음성전송 품질의 영향을 무시할 정도로 알려져 있다[4]. 따라서 이 기준으로 볼 때 c=28일 경우 60개 정도의 음성통화까지 가능하고 c=16일 경우 30개 정도의 음성통화가 가능하므로 기지국의 개수를 n이라하고 ACL링크를 사용할 경우 대략 $7n \times 2$ 개 정도의 음성 통화가 가능하게 됨을 알 수 있다.

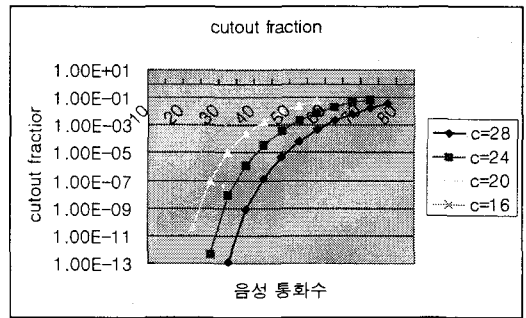


그림 6. 음성서비스채널수별 음성통화수에 따른 손실율

블루투스 라디오 상의 음성서비스와 데이터 서비스를 혼재 했을 경우 실시간 음성 서비스는 주기적인 전송 기회를 부여해 주기 위해 일정 대역을 항상 예약해 두어야 하는 관계로 데이터 트래픽의 서비스는 우선 순위에서 밀리게 된다. 따라서 ACL 음성 패킷과 데이터 패킷의 전송지연시간을 해석적인 방법으로 구하여 보고 음성 서비스 대역의 할당량에 따른 데이터 서비스의 전송지연시간의 변화를 살펴본다.

블루투스 라디오 상의 총 ACL 채널의 개수는 7개로 T_p 주기마다 매 DM1 패킷을 전송한다고 가정한다. 이때 7개의 ACL 링크중 음성에 할당된 채널의 수를 N_v 라 하고 데이터에 할당되는 채널의 수를 N_d 라 하자. 나머지 paging 기능을 위해 사용되어진 기간동안의 채널의 수를 N_{page} 라 할 때 임의의 시점에서 현재 채널의 ACL 데이터 트래픽 전송 가능 확률 δ 는 총 채널 개수중 음성 트래픽에 점유되지 않는 채널의 비율로 다음과 같다.

$$\delta = N_d / (N_v + N_d + N_{page}) \quad (3)$$

그리고 현재 채널의 시작 시간에서 시스템 내에 i 개 ACL 데이터 패킷이 존재할 확률 P_i 는 다음과 같다[5].

$$P_i = \sum_{K=0}^{i-1} \eta_K \{ (1-\delta) P_{i-K} + \delta P_{i+1-K} \} + \eta_i (P_0 + \delta P_1). \quad (4)$$

여기서 η_K 는 채널 시간(t_{ch}) 동안 K 개의 새로운 ACL 패킷들이 도착할 확률을 의미한다. 식 (4)의 확률생성함수(probability generating function)를 구하기 위하여 z -변환을 취하면 다음과 같다.

$$P(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} P_i Z^i \\ = (1-\delta) \sum_{K=0}^{\infty} \eta_K Z^K \sum_{i=K+1}^{\infty} P_{i-K} Z^{i-K} + \delta \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{i-1} \eta_K P_{i+1-K} Z^i \\ + P_0 \Omega(Z) + \delta P_1 \sum_{i=0}^{\infty} \eta_i Z^i \quad (5)$$

이때 (5)식에서 η 의 z -변환을 $\Omega(Z)$ 라 놓고 $P(Z)$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$P(Z) = \frac{\delta P_0 (Z-1)}{Z(\delta+1/\Omega(Z)-1)-\delta} \quad (6)$$

여기서, $P_0 = 1 - \frac{\Omega(1)(1)}{\delta}$ 이다.

그리고 확률생성함수 $\Omega(Z)$ 를 1차 미분하여 $Z=1$ 을 대입하여 구해지는 $\Omega'(1)$ 은 슬롯시간 동안 도착한 평균 ACL 패킷의 갯수를 나타내며 ACL 데이터 패킷의 도착 과정이 평균도착율이 λ_a 인 포아송과정으로 가정했을 경우 다음과 같다.

$$\Omega'(1) = \lambda_a t_{ch} \quad (7)$$

따라서 시스템에 대기하고 있는 평균 ACL 패킷의 갯수, 즉 버퍼의 길이 L_a 은 (6)식을 미분하여 (7)식을 대입하면 다음과 같이 구해진다.

$$L_a = \left. \frac{\partial P(Z)}{\partial Z} \right|_{Z=1} = \frac{\lambda_a t_{ch} (2 - \lambda_a t_{ch})}{2(\delta - \lambda_a t_{ch})} \quad (8)$$

마지막으로 리틀의 법칙(Little's law)[6]을 적용하면 평균 ACL 패킷의 전송지연시간 T_d 를 구할 수 있다.

$$T_d = L_a / \lambda_a = \frac{t_{ch} (2 - \lambda_a t_{ch})}{2(\delta - \lambda_a t_{ch})} \quad (9)$$

음성 트래픽의 평균 전송지연시간 T_v 은 한 주기마다 항상 한번의 전송 기회를 갖게 되므로 다음과 같다.

$$T_v = T_p / 2 \quad (10)$$

이상 유도한 식을 이용 다양한 가변적인 상황에 따른 블루투스간 협동방식의 ACL 패킷 전송지연시간과 버퍼 길이에 대한 성능 분석을 할 수 있다.

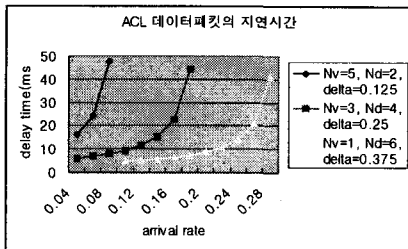


그림 7. ACL 데이터 패킷의 도착율에 따른 전송지연시간의 비교

그림 7에서 보듯이 Nd 의 값이 커질수록 데이터 패킷의 도착율리 증가하더라도 지연시간이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 음성 전송에 할당되는 채널을 줄이고 데이터 서비스에 더 많은 채널 대역을 할당함으로써 더 많은 데이터 트래픽을 처리할 수 있음을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 공항이나 쇼핑 몰등 사람들이 많이 몰리는 공공장소와 같은 핫스팟(hot spot) 지역에서 블루투스 기지국을 통한 음성서비스 제공을 위하여 다수의 기지국을 유선 LAN으로 협동시켜 각각 기지국별로 따로 제공되던 음성 채널들을 집합화(aggregation) 함으로써 보다 많은 음성 서비스 채널들을 동시에 수용할 수 있는 방법을 제시하고 성능을 분석하였다. 단독으로 동작하는 기지국은 ACL 채널을 사용하는 경우 7개까지의 채널 수용이 가능하므로 이상적인 경우에서도 오버랩 영역의 기지국의 개수가 n 이면 $7n$ 만큼 채널의 증가가 가능한 반면, 협동으로 동작하면 블록킹 율도 개선되면서 집합화된 채널들을 보간(interpolation) 기법을 통한 통계적 사용으로 음성 패킷의 허용 손실 범위내에서 음성채널의 수를 약 $14n$ 정도까지 확장할 수 있다. 또한 음성 전송과 데이터 전송이 혼합 서비스 될 때 수용하는 음성 채널의 수에 따른 데이터 전송지연시간 특성을 분석한 결과 음성 채널의 수를 줄여 더 많은 대역을 데이터 전송에 할당함으로써 데이터 패킷의 전송 지연시간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 호접속제에서 적절한 트래픽의 발생비율에 따라 호접속 한계값을 조절함으로써 보다 효율적인 서비스 네트워크를 구축할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Specification of the Bluetooth System, V1.0B, 1999
- [2] Chatschik Bisdikian, "An Overview of the Bluetooth Wireless Technology," IEEE Communications Magazine, pp. 86~94, Dec. 2001
- [3] Jingxin Xue, Terence D. Todd, "Basestation Collaboration in Bluetooth Voice Networks", Technical Report of Wireless Group, McMaster University
- [4] Clifford J. Weinstein, "Fractional Speech Loss and talker Activity Model for TASI and for Packet Switched Speech," IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-26, No.8, Aug. 1978, pp.1253~1257
- [5] Israel Gitman, Wen-Ning Hsieh, Benedict J. Ochoiogrosso, Analysis and Design of Hybrid Switching Networks, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-29, No. 9, pp1290-1300, 1981
- [6] Kleinrock, Queueing Systems, Vol.1: Theory, John Wiley & Sons, New York