

확장성을 고려한 안전한 Femtocell 서비스 클러스터 구성 기법

이중협, 서성훈, 송주석
연세대학교 컴퓨터과학과
e-mail : {jhlee, hoon, jssong}@emerald.yonsei.ac.kr

Constructing femtocell service clusters with improved scalability

JongHyup Lee, SungHoon Seo, JooSeok Song
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

이동통신의 급속한 발전과 함께 사용자의 서비스 요구를 만족시키기 위한 femtocell 기술이 개발되고 있다. Femtocell 기지국은 적은 사용자를 대상으로 고품질의 서비스를 제공할 수 있지만, 기존 기지국에 비하여 숫자가 많고 별도의 사용자 접속 리스트를 유지한다는 점에서 확장성 측면에서 한계를 보이고 있다. 따라서, 본 논문에서는 지리적 특성과 사용자 연관성이 높은 femtocell 기지국 간 하나의 관리 영역을 가지기 위한 서비스 클러스터 구성 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 femtocell 기지국들과 이동단말들의 상호 작용만을 통하여 수행되므로 높은 확장성을 가진다.

1. 서론

현재 이동통신의 급속한 발전과 함께, 사용자의 요구는 음성통화 중심의 연결성 확보라는 서비스에 대한 기본적인 사항에서 멀티미디어 통신을 쾌적하게 즐기고자 하는 고속 서비스에 대한 기대로 옮겨가고 있다. 하지만, 주파수 대역이 한정되어있는 상황에서 기존의 이동통신 서비스 구조를 고수하며 증대된 사용자의 요구를 충족시키기에는 한계가 있다. 따라서, 이러한 문제점에 대한 대안으로써 등장하게 된 것이 femtocell 기술이다[1]. Femtocell 기술에서는 수 km 단위의 영역을 커버하던 기존의 cell 외에 하나의 가정이나 직장만을 커버할 정도의 작은 크기 cell 을 구성한다. 따라서, femtocell 기술을 이용하면 기존의 macrocell 에서 많은 수의 사용자와 연결을 감당해야 했던 한계점의 제약을 받지 않기 때문에 이동통신 서비스 업체에서는 적은 비용으로 불필요한 기지국의 추가를 방지할 수 있으며, 사용자 측면에서는 고속, 고품질의 이동통신 서비스를 가정과 직장에서 지원받을 수 있어, 미래 이동통신 서비스의 핵심 기술로 자리잡게 될 것으로 예상되고 있다.

하지만, 이러한 femtocell 기술이 효과적으로 사용되기 위해서는 해결되어야 할 문제점들이 남아있다. Femtocell 장비는 기본적으로 사용자가 직접 가정과 직장 등 필요한 장소에 설치하는 것을 가정하고 있어야 하기 때문에, 설치와 동시에 femtocell 이 자동으로 구성되어야 한다[2]. 기존 구성 기법에서는 femtocell

기지국 장비가 인터넷 공용망을 통하여 이동통신 서비스 사업자의 코어망에 연결하여 자동 구성에 필요한 정보를 주기적으로 획득하는 방식을 취하고 있기 때문에, 코어망에서 모든 femtocell 기지국을 관리하고 각 기지국에 필요한 정보를 제공하는 중앙집중형 방식이 사용된다. 하지만, 기존의 넓은 커버영역 덕분에 비교적 적은 수의 기지국을 가지는 macrocell 기법에 비해 femtocell 은 관리해야 할 기지국의 숫자가 많으며 이는 사용자 수에 비례하여 급증할 것으로 예상된다. 따라서, 이러한 한계점을 고려한 femtocell 에서의 확장성 보장이 요구된다.

또한, 각 femtocell 기지국에서는 접근제어를 위해 자신에게 연결할 수 있는 사용자 리스트인 CSG (Closed Subscriber Group)를 구성하여 유지하게 된다. 하지만, 사용자가 하나 이상의 femtocell 에 자유롭게 연결하고자 할 때에는 접근가능한 모든 CSG 에 자신을 미리 등록하거나 오랜 시간이 걸리는 full authentication 과정을 통하여 코어망에게서 접근허가 결정을 요청해야한다는 문제점 또한 존재한다.

따라서 본 논문에서는 femtocell 기지국들이 자기 주변의 기지국을 여러 방법으로 탐색하고, 지리적 특성과 단말의 이동성에서 연관관계가 높은 femtocell 기지국들과 서비스 클러스터를 구성하는 기법을 제안하고자 한다. 특히 코어망의 도움없이 클러스터링이 가능하기 때문에 확장성 측면에서도 높은 효율성을 가지고 있다.

2. Femtocell 서비스 클러스터 구성 기법

제안하는 femtocell 서비스 클러스터 구성 기법은 지리적으로 가까운 거리에 위치하거나 공통되는 사용자의 연결이 많은 femtocell 기지국들을 하나의 서비스 클러스터(service cluster)로 구성한다. 하나의 서비스 클러스터 내에서는 CSG 정보와 보안 정보들을 공유함으로써 서비스 확장성을 높인다. 특히, 서비스 클러스터를 위한 조건을 만족시키는 경우에만 암호통신을 위한 키를 획득할 수 있게 함으로써, 효과적이고 안전한 클러스터 구성 기법을 제공한다.

초기 femtocell 기지국 구성 과정은 다음과 같이 진행된다.

- ① 코어망에서는 각 femtocell 기지국에게 femtocell 서비스 클러스터에서 사용할 group key 생성을 위해, S 의 degree 를 가지는 random polynomial 인 $P_i(x)$ 를 생성한다.
- ② 코어망에서는 해당 femtocell 들에게 다음과 같은 초기화 메시지(MSG_{init})를 전송한다.

$$MSG_{init} = E_{MK} \langle C_{id}, P(x) \rangle$$

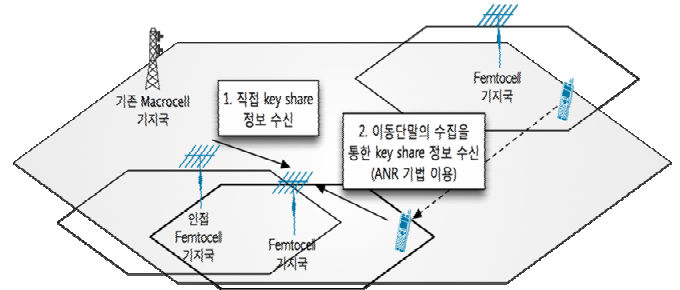
여기서 C_{id} 는 해당 macrocell 의 ID 를, $E_{MK} \langle \dots \rangle$ 는 해당 메시지가 master key 인 MK 를 이용하여 암호화 되었음을 나타낸다. MK 는 코어망과 모든 기지국이 공유한다.

- ③ 클러스터에 포함된 각 femtocell 기지국은 자신의 key share 인 $P_i(t)$ 를 pilot 신호와 함께 일정 시간간격으로 브로드캐스트한다. 여기서 t 는 현재 시간의 timestamp 값을 나타낸다. 따라서, 각 femtocell 기지국은 매시간 다른 key share 의 값을 전송하게 된다.

이러한 초기 과정이 수행된 이후에, 각 femtocell 기지국들은 두 가지 방법을 통하여 상대방의 key share 인 $P_j(t)$ 의 값을 얻게 된다. ($i \neq j$) 첫번째, 상대 femtocell 기지국과의 거리가 가까워서 브로드캐스트 메시지를 바로 수신하는 방법이 있으며, 두번째, ANR (Automatic Neighbor Relation)[3,4] 기법을 이용하여 이동단말이 수집해온 정보를 받아서 자신과 직접 통신이 가능하지 않은 주위 femtocell 기지국의 key share 를 얻는 방법이 있다. 어떠한 방법을 이용하던, S 개 이상의 key share 를 얻을 수 있다면 polynomial interpolation 기법 [5]을 이용하여 상대 femtocell 의 polynomial 인 $P_j(x)$ 를 구성할 수 있게 된다. 이후 해당 femtocell 기지국에게 자신의 정보를 담은 클러스터 가입 요청 메시지 (MSG_{join})를 보낸다.

$$MSG_{join} = E_{K_j} \langle F_{id}, CSG_i, F_{info} \rangle$$

여기서 F_{id} 와 CSG_i 는 가입하고자 하는 femtocell 기지국의 ID와 CSG, F_{info} 는 IP 주소, 위치 정보와 같은 기지국 관련 정보를 의미한다. 또한 이 메시지는 MK 값에 $P_j(0)$ 의 값을 XOR 한 키값인 $K_j = MK \oplus P_j(x)$ 으로 암호화하여 전송한다. 즉, S 개 이상의 key share를 수집



(그림 1) Key share 를 획득하기 위한 두 가지 방법

한 femtocell 기지국 만이 해당 메시지를 보낼 수 있다. 가입 요청 메시지를 수신한 femtocell 기지국에서는 새로 추가된 femtocell 기지국을 포함한 서비스 클러스터 멤버 모두에게 다음과 같은 갱신메시지 (MSG_{update})를 전송한다.

$$MSG_{update} = E_{K_j} \langle CSG_j, L_j \rangle$$

여기서 CSG_j 와 L_j 는 새롭게 갱신된 CSG 리스트와 멤버 리스트를 뜻한다.

만일, 필요한 S 개 만큼의 key share 를 확보하지 못한 femtocell 기지국과는 충분히 가까운 거리에 있지 못하거나, 사용자의 상관관계가 낮기 때문에 같은 서비스 클러스터에 포함될 이유 또한 희박하다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 조건에 해당되는 기지국과는 서비스 클러스터를 구성하지 않는다.

3. 결론

본 논문에서는 femtocell 이 가지고 있는 CSG 와 관련된 서비스 영역 제한 문제를 조명하고, 지리적 특성과 사용자의 연관관계를 가지는 femtocell 기지국들이 공통 관리영역을 구성하는 서비스 클러스터 구성 기법을 제안한다. 특히, 제안하는 기법은 코어 망의 도움없이 femtocell 기지국들과 사용자 단말들의 상호 작용만을 통하여 서비스 클러스터를 구성하고 안전한 통신을 위한 group key 를 생성할 수 있기 때문에 확장성 측면에서도 효율적인 기법이다.

참고문헌

- [1] V. Chandrasekha, G. Andrews, A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communications Magazine, vol. 49, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [2] C. Holger, H. Lester, S. Louis, "Self-optimization of Coverage of Femtocell Deployments," IEEE Wireless Telecommunications Symposium (WTS) 2008, pp. 278-285, Apr. 2008.
- [3] 3GPP, TR R3.020 v0,7,0, "Home (e)NodeB: Network aspects," May 2008
- [4] 정정수, 최성호, "LTE 초소형 기지국," 한국통신학회지 제 25 권 제 9 호, 2008. 8, pp. 41~48
- [5] S. Endre, D. Mayers, "An Introduction to Numerical Analysis," Cambridge University Press, 2003