

모바일 와이맥스를 위한 퍼지 로직 자가 구성 네트워크 (Self-Organizing Network for Mobile WiMAX Using Fuzzy Logic)

서신석*, 김성수*, 홍원기**

*포항공과대학교 컴퓨터공학과

**포항공과대학교 정보전자융합공학부

{sesise, kiss, jwkhong}@postech.ac.kr

요 약

이동 통신 기술은 짧은 지연시간과 높은 대역폭을 제공하기 위하여 기지국의 수를 늘리고, 하나의 기지국이 담당하는 지역을 좁히는 방향으로 발전해 나가고 있다. 기지국의 수가 늘어남에 따라 각 기지국의 설정을 위해 소요되는 인력과 비용의 지출이 증가하고 있다. 네트워크의 관리를 위해 소요되는 인력과 비용의 지출을 최소화 하기 위해 네트워크 스스로 주변의 상황을 인지하고 설정을 최적화할 수 있는 자가 구성 네트워크의 필요성이 증가하고 있다. 본 논문에서는 자가 구성 네트워크를 위한 퍼지 로직 적용 방법을 제안한다. 이를 위해 퍼지 로직의 입력으로 들어갈 세 가지 메트릭을 정의하고, 퍼지 멤버십 함수와 룰을 정의했다. 정의한 멤버십 함수와 룰을 검증하기 위하여 모바일 WiMAX 환경을 가정된 시뮬레이션 환경을 구현했고, 시뮬레이션 결과를 평가하기 위한 기준을 정의했다. 세 가지 시나리오에 기반한 시뮬레이션을 수행하여, 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크가 각 WiMAX 기지국들의 설정을 최적화 할 수 있음을 보였다.

Keywords: Self-Organizing Network, Mobile WiMAX, Network Management, Fuzzy Logic

1. 서론

차세대 이동통신 기술 규격인 IMT-Advanced [1]의 유력한 후보 기술로 3GPP의 LTE-Advanced [2]와 IEEE 802.16m [3]이 거론되고 있다. 이 두 기술 모두 사용자 측면에서는 짧은 지연시간과 높은 대역폭을 제공하고, 사업자 측면에서는 시스템 용량과 커버리지를 향상 시키고, 운영 비용을 절감하기 위한 방향으로 발전해 나가고 있다. 무선 주파수 자원은 한정되어 있기 때문에 이러한 목표를 달성하기 위해서는 기지국의 수를 늘리고, 하나의 기지국이 담당하는 지역을 좁힐 수 밖에 없다. 따라서 동일한 지역을 커버하기 위한 기지국의 수는 증가할 수 밖에 없으며, 이것은 기지국간의 간섭 발생 가능성을 높이고, 늘어남 기지국을 관리하기 위해 소요되는 인력과 비용을 더욱 증가시킨다.

또한 현재의 이동통신 시장은 포화 상태에 이르러 있고, 각 통신 사업자 간의 경쟁은 더욱더 치열해지고 있다. 고객들의 요구 사항은 매우 빠르게 변화하고 있으며, 이러한 변화에 재빠르게 대응하는 것이 곧 통신 사업자의 경쟁력이다.

네트워크 설정 최적화 및 관련 파라미터 조정은 트래픽 분포, 지형, 시스템 용량, 서비스 품질 등을 모두 고려해야 하는 매우 복잡한 작업이다. 현재의 네트워크 관리는 사람의 경험과 직관 및 네트워크 플래닝 툴(network planning tool)에 의해 이루어지고 있으므로, 기술 및 시장의 변화에 신속하고 적절하게 대응하기 어렵다. 따라서 앞으로의 네트워크 관리 기법은 네트워크 플래닝과 최적화에 있어서 사람의 관여를 최소화하고, 스스로 자신의 파라미터를 설정하고, 최적화하며, 문제가 발생했을 때 스스로 문제를 해결하여 치유될 수 있는 방향으로 나아가야 한다. 통신 사업자의 운영비용을 경감하고, 고객의 요구에

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(NIPA-2010-C1090-0902-0045)과 한국과학기술재단을 통해 교육과학기술부의 WCU 사업(WCU, World Class University)으로부터 지원받아 수행되었습니다(과제번호: R31-2008-000-10100-0).

재빠르게 대응하기 위하여 IEEE 802.16m [3]과 3GPP LTE-Advanced [2]에서는 자가 구성 네트워크(Self-Organizing Network) 개념을 제시하고 표준화를 진행하고 있다. 자가 구성 네트워크란 무선 접속 네트워크(Radio Access Network)와 코어 네트워크의 각종 파라미터를 지속적으로 측정하고, 네트워크에 변화가 발생하면 스스로 설정을 변경(Self-configuration) 및 최적화(Self-optimization)하고, 문제가 발생하면 자동적인 자가 치유(Self-healing)를 통해 자신의 상태를 안정적이고 효율적으로 유지하는 네트워크를 말한다.

자가 구성 네트워크 기법은 차세대 이동통신 네트워크에서 핵심적인 역할을 할 것으로 기대되고 있으며, 관련 연구 및 표준화도 활발히 진행되고 있다. 하지만 아직까지 자가 구성 네트워크와 관련된 연구는 매우 기초적인 단계에 머물러 있으며, 관련 표준안도 요구사항 도출 [4]이나 use-case 의 제시 [5]에 그치고 있어 보다 실제적인 자가 구성 네트워크에 대한 연구가 필요한 시점이다.

본 논문에서는 기지국이 주변의 상황을 인지하여 지역 커버리지 및 트래픽 커버리지는 항상 시키고, 다른 기지국과의 간섭 영역과 전력 소모량은 감소 시키도록 스스로 관련 파라미터들을 조절하는 자가 구성 네트워크를 제안한다. 이 자가 구성 네트워크는 퍼지 로직을 이용하여 정확한 수치로 나타내기 어려운 제약 조건들을 표현하며, 퍼지 룰에 기반하여 관련 파라미터를 조절한다. 또한 모바일 WiMAX 환경을 갖는 시뮬레이션을 통하여 제안한 퍼지 로직 자가 구성 네트워크를 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 자가 구성 네트워크와 관련된 표준화 현황과 퍼지 로직을 이용한 Cell 배치 계획과 관련된 기존의 연구를 소개한다. 3 장에서는 자가 구성 네트워크를 위한 퍼지 로직의 입력이 되는 메트릭과 멤버십 함수 및 룰을 정의하며, 4 장에서는 제안한 퍼지 로직 자가 구성 네트워크 시스템을 검증하기 위한 시뮬레이션 환경을 기술한다. 5 장에서는 시뮬레이션 결과를 설명하고, 마지막으로 6 장에서는 결론 및 향후 과제를 제시한다.

2. 관련 연구

자가 구성 네트워크와 관련된 논의는 IMT-Advanced [1] 후보 기술인 3GPP LTE-Advanced [2]와 IEEE 802.16m [3]에서 활발히 이루어지고 있다. 3GPP LTE-Advanced 에서는 2009 년 3 월에 발표된 Release 8 에서 Self-establishment, Physical cell ID, Automatic neighbor relation, Inter-cell interference coordination 과 관련된 Use-cases 를 제시하였다. 여기에서는 자가 구성 네트워크의 동작을 크게 Self-configuration 과 Self-optimization, 그리고 Self-healing 으로 구분하고 있다. Self-configuration 은 기지국의 물리적 설치 이후 전원을 공급하면 스스로 IP 주소, Physical cell ID 등의 관련 파라미터를 설정하여 서비스가 가능한 상태로 만드는 역할을 한다. Self-optimization 은 주변의 상황을 지속적으로 측정하여, 상황의 변화에 따라 각종 파라미터를 최적화하는 역할을 한다. Self-healing 은 장애를 자동적으로 발견하고, 스스로 치유하는 것을 말한다. IEEE 802.16m 에서 제시하고 있는 자가 구성 네트워크의 기본적인 개념 및 전체적인 틀도 3GPP LTE 의 자가 구성 네트워크와 유사하다.

퍼지 로직을 이용하여 자동적으로 이동 통신 네트워크 Cell 의 배치를 계획하는 Huang 의 연구 [6]에서는 트래픽과 간섭을 고려하여 전송 신호 세기를 조절하는 퍼지 로직을 제안하고, 매우 단순한 모델인 Unit Disk Graph Model [7]을 따르는 시뮬레이션을 통하여 자신들의 연구를 검증하고 있다. 본 논문에서 제안하는 퍼지 로직 자가 구성 네트워크는 트래픽과 간섭 외에도 기지국의 지역 커버리지도 고려하며, 보다 실제적인 검증을 위하여 모바일 WiMAX 기술에 기반한 시뮬레이션을 수행했다. 더욱이 Huang 의 연구는 기지국을 설치하기 이전의 계획 단계에 초점을 맞추고 있지만, 본 연구에서 제안하는 방법은 이미 기지국이 설치된 후 서비스를 제공하고 있는 상황에서도 기지국들이 스스로 파라미터를 최적화할 수 있는 자가 구성 네트워크에 초점을 맞추고 있다.

3. 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크

퍼지 로직은 퍼지란 단어가 가지고 있는 의미처럼 크다, 작다 등의 모호한 용어를 표현할 수 있으며, 매우 유연하고 구현이 간단한 시스템을 디자인할 수 있다. 이러한 장점 때문에 퍼지 로직은 실내 온도 조절, 엘리베이터 조작, 디지털 이미지 처리, 패턴 인식 등 많은 분야에 널리 쓰이고 있다.

본 논문에서 제안하는 자가 구성 네트워크에서 사용되는 각종 파라미터들은 커버리지 영역이 넓다, 간섭이 심하다 등과 같이 정확한 수치로 나타내기 어려운 경우가 많다. 퍼지 로직을 이용하면, 이런 파라미터들을 쉽게 나타낼 수 있고, 미리 정의되어 있는 룰에 기반하여 결정을 내릴 수 있다.

본 장에서는 Mamdani 퍼지 추론 [8]에 대해 설명하고, 자가 구성 네트워크에 사용되는 각종 메트릭들을 정의한 후, 퍼지 멤버십 함수와 퍼지 룰을 정의한다.

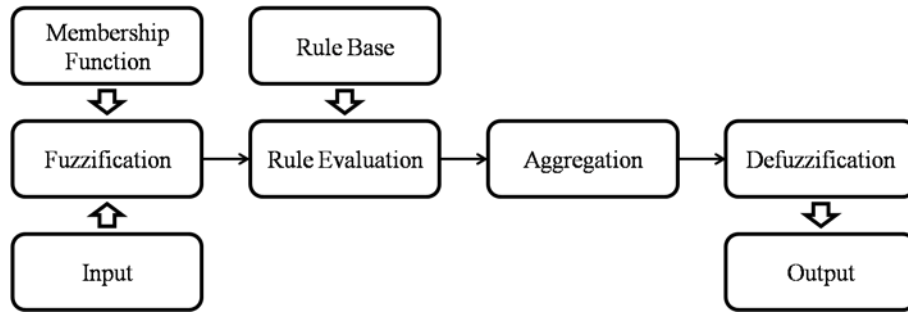


그림 1. 퍼지 추론 단계

3.1. 퍼지 추론

퍼지 추론 방식에는 대표적으로 Mamdani 에 의해 제안된 것 [8]과, Sugeno 에 의해 제안된 것 [9]이 있다. 본 논문에서는 Mamdani 에 의해 제안된 퍼지 추론 방식을 이용했다. Mamdani 의 퍼지 추론은 Fuzzification, Rule Evaluation, Aggregation, Defuzzification 의 네 단계로 구분된다(그림 1).

첫 번째 단계인 Fuzzification 에서는 외부에서 실측값 입력을 받아들이고, 이 입력을 멤버십 함수를 이용하여 평가한다. 멤버십 함수는 특정 값이 특정 집합에 속하는지를 나타내는 함수로 1 에 가까울수록 특정 값이 특정 집합에 포함될 수 있는 정도가 높음을 의미한다. 예를 들어, 어떤 사람의 키가 170 cm 라는 입력이 들어오면, 미리 정의되어 있는 멤버십 함수를 이용하여 이 사람의 키가 작다 혹은 크다고 나타낼 수 있는 정도를 도출하여 Rule Evaluation 단계로 넘기게 된다. 자가 구성 네트워크에 사용되는 멤버십 함수는 3.2 장에 제시했다.

Rule Evaluation 단계에서는 Fuzzification 단계에서 넘어 온 값을 룰 베이스에 저장되어 각 룰을 이용하여 평가하게 된다. 예를 들어, “IF father is small AND mother is small, THEN child is small.” 과 같이 룰이 정의되어 있다고 하면, Fuzzification 단계에서 아버지와 어머니의 실제 키를 입력으로 받아서, 멤버십 함수를 통해 부모의 키가 큰지 작은지를 정하고, 룰에 의해 자식이 큰지 작은지 평가하는 것이다.

룰 베이스에 저장되어 있는 모든 룰에 의해서 평가된 결과는 Aggregation 단계에서 하나의 출력 변수 당 하나의 퍼지 집합으로 합해진다. 이 값은 다시 Defuzzification 단계로 전달된다. Defuzzification 단계에서는 Aggregation 단계에서 넘어온 퍼지 집합들을 수치화하여 퍼지 로직 외부에 있는 시스템에서 사용할 수 있도록 한다. 본 논문에서는 다양하게 존재하는 Defuzzification 방법 중에서 Center of Gravity 방법을 이용하였다. Center of Gravity 방법은 Aggregate 집합을 똑같이 양분하는 지점을 찾아내는 기법이다.

3.2. 자가 구성 네트워크를 위한 매트릭, 멤버십 함수, 퍼지 룰

자가 구성 네트워크를 위해서는 간섭 정도, 셀 내의 유저 수, 셀 내의 트래픽 량, 커버리지 범위 등 수많은 정보를 고려해야 한다. 하지만, 모든 정보를 고려한 자가 구성 네트워크를 구성하는 것은 불가능하다. 본 논문에서는 자가 구성 네트워크를 위해 필수적인 세 가지 매트릭을 정의하고 퍼지 로직의 입력으로 이용했다. 다음은 각 매트릭의 정의이다

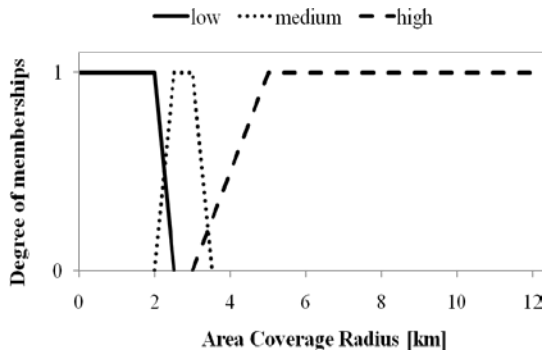
- **Area Coverage Radius (r_{BSi}):** 본 논문에서는 해당 기지국이 담당할 수 있는 지역을 원으로 가정했다. 이 매트릭은 그 원의 반경을 나타낸다. 이 값은 해당 기지국이 전송하는 신호의 세기에 따라 바뀌며, 본 논문에서는 Free Space Path Loss 모델 [10]을 이용하여, 신호 세기에 따른 Coverage Radius 를 구했다.
- **Traffic Load (T_{BSi}):** 해당 기지국이 현재 담당하고 있는 지역에서 발생하는 총 트래픽 량이다. 즉,

$$T_{BSi} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \delta(x,y) \cdot p_{BSi}(x,y) \quad (1)$$

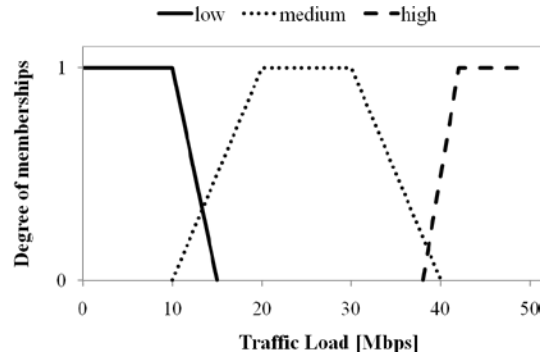
이다. 전체 지역이 $n \times m$ 픽셀로 구성되어 있다고 가정하면, $\delta(x,y)$ 는 (x,y) 지점에서 발생하는 트래픽량을 의미하고, $p_{BSi}(x,y)$ 는 (x,y) 지점이 기지국 BSi 에 의해 커버되고 있는지 여부를 0 또는 1 로 나타내는 함수이다.

- **Overlapping Area Rate (O_{BSi}):** 해당 기지국의 커버리지가 인접한 기지국의 커버리지와 겹치는 영역의 비율이다. 즉,

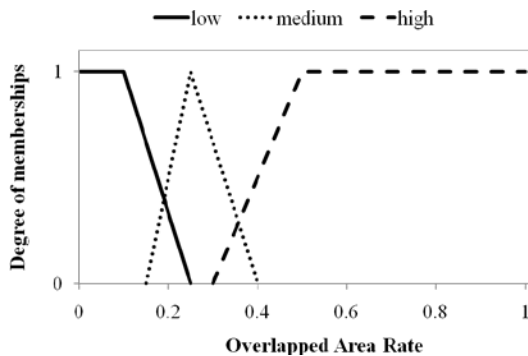
$$O_{BSi} = \frac{\sum_{x \neq i} \phi(BSi, BSx)}{\pi r_{BSi}^2} \quad (2)$$



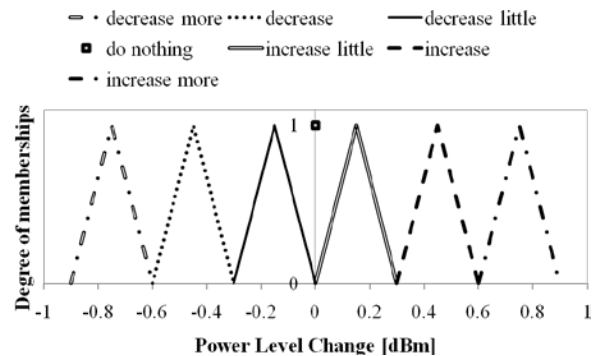
(a) Free Space Path Loss 모델에 따른 Coverage Radius



(b) 해당 기지국이 담당하는 총 트래픽 량



(c) 다른 기지국의 커버리지와 겹치는 영역의 비율



(d) 퍼지 추론 수행 결과에 따른 전송 세기 변화

그림 2. 퍼지 로직 멤버십 함수

이다. $\phi(BSi, BSx)$ 는 기지국 i 의 커버리지와 기지국 x 의 커버리지가 겹치는 영역의 면적이다. O_{BSi} 값은 직접적으로 셀간 간섭의 정도에 영향을 미친다. 즉, 기지국 커버리지 간에 겹치는 영역이 크면 클수록 간섭도 심해진다.

자가 구성 네트워크를 위해 정의한 세 가지 메트릭을 퍼지 로직에 적용하기 위하여 각 메트릭별로 멤버십 함수를 정의했다(그림 2a, b, c). Area Coverage Radius는 전송 신호 세기가 25 ~ 43 dBm이라고 가정하고 Free Space Path Loss 모델[10]에 따라서 0 ~ 12 km 범위에서 low, medium, high의 세 가지로 구분했다. Traffic Load는 WiMAX 포럼에서 나온 실험 데이터 [11]를 참조하여 0 ~ 46 Mbps 범위에서 low, medium, high로 구분했다. Overlapping Area Rate는 0 ~ 1의 값을 가지며, 마찬가지로 low, medium, high의 세 가지로 구분했다.

퍼지 추론을 위해서 Area Coverage Radius, Traffic Load, Overlapping Area Rate의 값을 입력으로 받는 퍼지 룰(표 1)도 정의했다. 이 퍼지 룰은 전송 신호 세기를 decrease more, decrease, decrease little, do nothing, increase little, increase, increase more의 다섯 단계로 구분하여 변화시킨다. 퍼지 룰에 기반한 퍼지 추론의 결과에 따라 해당 기지국의 커버리지를 조절하기 위하여, 전송 신호 세기의 변화를 나타내기 위한 멤버십 함수도 정의했다(그림 2d).

4. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크의 유용성을 검증하기 위한 시뮬레이션 환경에 대해 설명한다. 시뮬레이션 대상 기술은 모바일 WiMAX [12]로 정했다. 그 이유는 LTE-Advanced [2]나 IEEE 802.16m [3]은 아직 상용화되지 않았고, 실제적인 파라미터 정보를 얻기 어렵기 때문이다. 모바일 WiMAX는 IEEE 802.16m의 기반 기술이며, 현재 쓰이고 있는 이동 통신 기술들 중에서 가장 최신의 기법을 사용하고 있기 때문에, 자가 구성 네트워크의 대상 기술로 적절하다고 판단했다.

시뮬레이션을 단순화하기 위하여, 시뮬레이션 결과의 유효성을 심각하게 저해하지 않는 범위 내에서 다음과 같은 몇 가지 기본적인 가정을 했다.

표 1. 퍼지 룰

- RULE 1 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS increaseMore;
- RULE 2 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS increaseMore;
- RULE 3 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS increase;
- RULE 4 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS increaseLittle;
- RULE 5 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS doNothing;
- RULE 6 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS doNothing;
- RULE 7 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS decreaseLittle;
- RULE 8 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 9 : IF *traffic load* IS low AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS decreaseMore;
- RULE 10 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS increase;
- RULE 11 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS increaseLittle;
- RULE 12 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS increaseLittle;
- RULE 13 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS increaseLittle;
- RULE 14 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS doNothing;
- RULE 15 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS doNothing;
- RULE 16 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS decreaseLittle;
- RULE 17 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 18 : IF *traffic load* IS medium AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS decreaseMore;
- RULE 19 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS decreaseLittle;
- RULE 20 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 21 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS low AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 22 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS decreaseLittle;
- RULE 23 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 24 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS medium AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 25 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS low THEN *power level change* IS decrease;
- RULE 26 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS medium THEN *power level change* IS decreaseMore;
- RULE 27 : IF *traffic load* IS high AND *overlapping area rate* IS high AND *area coverage radius* IS high THEN *power level change* IS decreaseMore;

- 기지국의 전송 신호 세기와 커버리지는 Free Space Path Loss 모델 [10]을 따른다.
- 기지국의 커버리지는 원의 형태를 가진다.
- 다운링크와 업링크의 트래픽 비율은 3:1 이고 2x2 MIMO 기술을 사용하여 최대 다운링크 속도는 46 Mbps 이다 [11].
- 트래픽 로드는 다운링크 로드만 고려한다.
- 시뮬레이션 대상 지역은 25x25 픽셀로 나뉘어져 있으며, 한 픽셀은 1x1 km 의 정사각형 형태이다.
- 각 픽셀에는 균등 분포를 따르는 임의의 트래픽 로드가 존재한다.
- 시뮬레이션 대상 지역에는 커버리지와 트래픽 로드, 간섭을 고려하여 최적화되어 있는 기지국이 존재한다.

위와 같은 가정을 토대로 시뮬레이션 환경을 구현하였으며, 이와 관련된 각종 파라미터들은 표 2 에 나타내었다.

표 2. 모바일 WiMAX 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값	파라미터	값
Frequency Reuse Pattern	1 x 1 x 1	Transmit Power Range	25 ~ 43 dBm
Download Peak Data Rate	46 Mbps	Operating Frequency	2,500 MHz
BS Antenna Gain	15 dBi	MS Antenna Gain	-1 dBi
Maximum MS Sensitivity	-85 dBm	Sum of Miscellaneous Losses	20 dB
Channel Bandwidth	10 MHz	Coding Scheme	OFDMA

4.1. 시뮬레이션 시나리오

퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크의 유용성을 검증하기 위한 시뮬레이션을 위하여 다음과 같은 세 가지 시나리오를 구상해 보았다. 시나리오를 적용하기 전의 각 기지국들은 커버리지와 트래픽 로드, 간섭을 고려하여 최적화되어 있다고 가정한다.

- 시나리오 1:** 특정 기지국 6 개가 담당하는 지역의 Traffic Load 가 급격히 증가한다. 그 결과 이 6 개의 기지국이 담당해야 하는 Traffic Load 는 기지국이 감당할 수 있는 최대 Traffic Load 인 46 Mbps 를 초과한다. 따라서 기지국 내에 존재하는 사용자들에게 정상적인 서비스를 제공하기 어려운 상태가 된다. 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크 기법을 적용하면, 이와 같은 경우 스스로 커버리지 범위를 축소시켜서 Traffic Load 를 감당할 수 있는 수준이 되도록 조절할 것으로 예상된다.
- 시나리오 2:** 특정 기지국 2 개가 정전으로 인하여 기능을 상실한다. 그 결과 정전된 기지국이 담당하던 지역의 사용자들은 정상적인 서비스를 제공받을 수 없게 된다. 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크 기법을 적용하면, 정전된 기지국 주변의 기지국들이 스스로 커버리지 범위를 확대하여, 정전된 지역의 사용자들에게 정상적인 서비스의 제공이 가능하다.
- 시나리오 3:** 트래픽 로드가 크거나, 음영 지역이 많은 곳에 기지국 3 개가 새로 설치된다. 전체적인 커버리지는 증가하고 음영 지역은 감소하지만, 새로 설치된 기지국으로 인해 간섭이 증가하게 된다. 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크 기법을 적용하면, 새로 설치된 기지국과 기존 기지국들이 스스로 커버리지를 조절하여, 적정 수준의 커버리지를 유지하면서 간섭을 최소화 한다.

4.2. 시뮬레이션 평가 기준

퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크 기법의 유용성을 검증하기 위한 평가 기준을 다음과 같이 정의하였다.

- Area Coverage Rate (A):** 전체 기지국의 커버리지 범위 안에 포함되는 픽셀의 수와 전체 픽셀 수의 비율로 정의한다. 즉, 전체 지역이 $n \times m$ 픽셀로 구성되어 있다고 가정하면

$$A = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m p(x,y)}{n \cdot m} \quad (3)$$

이다. $p(x,y)$ 는 (x,y) 지점이 기지국에 의해서 커버되고 있는지 여부를 0 또는 1로 나타내는 함수이다. Area Coverage Rate 값은 클수록 좋다.

- **Traffic Coverage Rate (T)**: 전체 기지국의 커버리지 범위 안에 포함되어 있는 각 픽셀에서 발생하는 트래픽 로드의 합과 전체 트래픽 로드의 합의 비율로 정의한다. 즉,

$$T = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \delta(x,y) \cdot p(x,y)}{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \delta(x,y)} \quad (4)$$

이다. $\delta(x,y)$ 는 (x,y) 지점에서 발생하는 트래픽량을 의미한다. Traffic Coverage Rate 값은 클수록 좋다.

- **Total Overlapping Area Rate (O)**: 두 곳 이상의 기지국의 커버리지 범위 안에 동시에 포함되는 픽셀의 수와 전체 기지국의 커버리지 안에 포함되는 픽셀 수의 비율로 정의한다. 즉,

$$O = \frac{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \omega(x,y)}{\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m p(x,y)}$$

(5)

이다. $\omega(x,y)$ 는 (x,y) 지점이 두 곳 이상의 기지국에 의해서 커버되고 있는지 여부를 0 또는 1로 나타내는 함수이다. Total Overlapping Area Rate 값은 낮을수록 좋다.

- **Power Consumption Rate (P)**: 각 기지국이 현재 전송하고 있는 신호 세기의 총 합과, 전체 기지국이 최대로 전송할 수 있는 신호 세기의 총합의 비율로 정의한다. 즉,

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k PL_{BSi}}{k PL_{max}} \quad (6)$$

이다. k 는 기지국의 총 개수고 PL_{max} 는 한 기지국이 전송할 수 있는 최대 신호 세기이며, 본 논문에서는 43 dBm 이다. PL_{BSi} 는 기지국 i 의 현재 전송 신호 세기이다. Power Consumption Rate 값은 낮을수록 좋다.

- **Overall Rate (R)**: Area Coverage Rate, Traffic Coverage Rate, Total Overlapping Area Rate, Power Consumption Rate 는 서로 비슷한 경향을 보이기도 하지만, 서로 상충되기도 한다. 예를 들어 Area Coverage Rate 를 향상시키면, Traffic Coverage Rate 도 같이 향상될 수 있지만, Total Overlapping Area Rate 와 Power Consumption Rate 는 나빠지게 된다. 이렇게 서로 비슷하거나 상충되는 메트릭들을 하나의 통합된 지표로 나타내기 위하여 Overall Rate 를 다음과 같이 정의했다.

$$R = \alpha_1 \cdot A + \alpha_2 \cdot T + \alpha_3 \cdot (1 - O) + \alpha_4 \cdot (1 - P) \quad (7)$$

α_i 는 가중치로 모든 α_i 의 합은 1 이 되어야 한다. Total Overlapping Area Rate 와 Power Consumption Rate 는 낮을수록 좋은 지표이기 때문에, 1 에서 뺀 값에 가중치를 곱해서 계산한다. 본 논문에서는 각 지표에 동일한 가중치를 부여하여 Overall Rate 를 계산했다.

- **Congested BSes (C)**: 현재 커버하고 있는 지역의 총 Traffic Load 가 해당 기지국이 감당할 수 있는 최대의 Traffic Load 보다 큰 기지국의 수로 정의한다. 이 값은 낮을수록 좋다.

표 3. 시나리오별 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 수행 전과 수행 후 결과 비교

		시나리오 1		시나리오 2		시나리오 3	
		수행 전	수행 후	수행 전	수행 후	수행 전	수행 후
Area Coverage Rate	평균	0.915	0.834	0.839	0.884	0.947	0.930
	표준편차	0.002	0.010	0.012	0.126	0.007	0.006
Traffic Coverage Rate	평균	0.935	0.875	0.843	0.888	0.942	0.925
	표준편차	0.014	0.014	0.012	0.012	0.005	0.014
Total Overlapping Area Rate	평균	0.142	0.133	0.125	0.120	0.237	0.145
	표준편차	0.012	0.006	0.014	0.002	0.010	0.004
Power Consumption Rate	평균	0.703	0.682	0.701	0.704	0.705	0.692
	표준편차	0.002	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002
Overall Rate	평균	0.751	0.723	0.714	0.737	0.737	0.755
	표준편차	0.003	0.003	0.006	0.006	0.001	0.005
Congested BSes	평균	5.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	표준편차	0.548	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

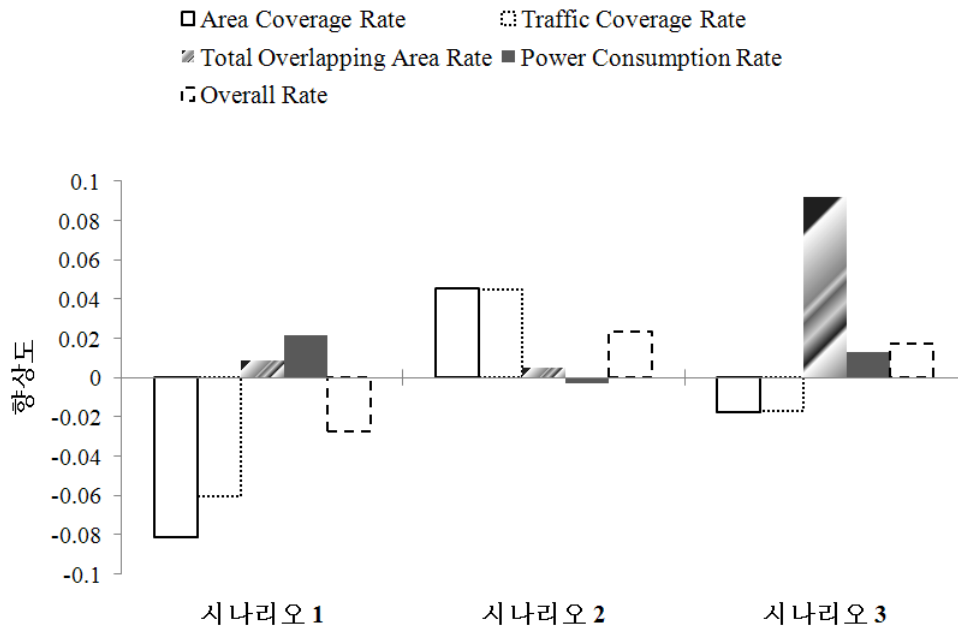


그림 3. 시나리오별 평가 기준 향상도

5. 시뮬레이션 결과

세 가지 시나리오별 시뮬레이션 수행 결과를 표 3에 나타내었다. 이 시뮬레이션은 각 시나리오별로 총 5번 수행되었으며, 표 3에 표시한 결과는 5번 수행한 결과의 평균값이다. 그림 3은 각 시나리오별 평가 기준 향상도를 나타낸 그림이다. Area Coverage Rate, Traffic Coverage Rate, Overall Rate는 값이 커질수록 향상되는 것이므로 시뮬레이션 수행 후 결과에서 수행 전 결과를 뺀 값을 표시했고, Total Overlapping Area Rate와 Power Consumption Rate는 값이 작아질수록 향상되는 것이므로 시뮬레이션 수행 전 결과에서 수행 후 결과를 뺀 값을 표시했다.

특정 기지국 6개의 Traffic Load가 급격히 증가하는 상황인 시나리오 1의 시뮬레이션 수행 결과 Area Coverage Rate, Traffic Coverage Rate, Overall Rate는 감소하고, Total Overlapping Area Rate와 Power Consumption Rate는 향상되었다. 또한 Congested BS의 개수는 평균 5.4개에서 0개로 향상되었다. 즉, 혼잡이 발생한 기지국은 스스로 전송 신호 세기를 조절하여, 자신이 감당할 수 있는 적정 수준의 사용자에게만 서비스를 제공하게 된 것이다.

혼잡이 발생한 기지국이 담당하는 지역의 실제 Traffic Coverage Rate를 정확히 모델링할 수 있는 방법이 없기 때문에, 본 시뮬레이션에서는 혼잡이 발생한 기지국도 정상적인 서비스를 제공한다고 가정했다. 따라서 Traffic Coverage Rate가 시뮬레이션 수행 후 감소하는 결과를 보였지만, 실제로는 혼잡이 발생한 기지국은 자신이 감당할 수 있는 최대의 Traffic Load보다 낮은 성능을 보이기 때문에, 실제 환경에서는 Traffic Coverage Rate가 향상될 것으로 예측된다. 또한 시뮬레이션 평가 기준에 반영되지 않은 통신 품질, 사용자의 만족도 등도 향상될 것으로 예측할 수 있다.

특정 기지국 2개가 정전이 된 상황인 시나리오 2의 시뮬레이션 수행 결과는 예상대로 주변 기지국들이 스스로 전송 신호 세기를 증가시켜, 정전이 된 기지국이 담당하던 지역을 주변 기지국들이 담당하게 되었다. 따라서 Area Coverage Rate와 Traffic Coverage Rate가 향상되었다. 전송 신호 세기를 증가시켰기 때문에 Power Consumption Rate도 증가했지만, Area Coverage Rate와 Traffic Coverage Rate의 향상도가 더 크기 때문에, Overall Rate도 향상되었다.

새로운 기지국 3개가 새로 설치되는 시나리오 3의 시뮬레이션 수행 결과 기지국들이 스스로 전송 신호 세기를 조절하여 간섭이 발생할 수 있는 지역을 감소시키는 동시에 적정 수준의 Area Coverage와 Traffic Coverage를 유지한 것을 알 수 있다. 즉, Total Overlapping Area Rate와 Power Consumption Rate는

향상되었고, Area Coverage Rate 와 Traffic Coverage Rate 는 감소하였지만, 그 감소 정도가 미미하여 Overall Rate 는 증가하였다.

6. 결론 및 향후 과제

복잡해진 이동 통신 네트워크의 효율적인 관리를 위해서는, 네트워크 스스로 주변의 상황을 인지하고 자신의 여러 파라미터들을 스스로 조절하는 자가 구성 네트워크가 필요하다. 본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여 자가 구성 네트워크를 구성할 수 있는 기법을 제안했다. 이를 위해 퍼지 로직의 입력으로 들어갈 Area Coverage Radius, Traffic Load, Overlapping Area Rate 의 세 가지 메트릭 및 각 메트릭별 멤버십 함수와 룰을 정의했다. 정의한 멤버십 함수와 룰을 검증하기 위하여 모바일 WiMAX 환경을 가정한 시뮬레이션을 세 가지 시나리오에 기반하여 수행했고, 시뮬레이션 결과를 여섯 가지 시뮬레이션 평가 기준에 의거하여 평가했다. 그 결과 퍼지 로직을 이용한 자가 구성 네트워크가 스스로 상황의 변화에 따라 최적화 할 수 있음을 보였다.

향후 과제로는 퍼지 멤버십 함수와 퍼지 룰의 최적화를 통해 자가 구성 네트워크의 성능을 극대화시키는 것이 있다. 또한 본 논문에서는 Area Coverage Radius, Traffic Load, Overlapping Area Rate 의 세 가지 메트릭만으로 자가 구성 네트워크의 전송 신호 세기를 조절하였지만, 보다 많은 메트릭과 파라미터를 고려한 자가 구성 네트워크에 대한 연구도 진행할 예정이다.

7. 참고 문헌

- [1] ITU-R Rec. M. 1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," June 2003.
- [2] 3GPP TR 36.913, "Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced)," Dec. 2009.
- [3] IEEE 802.16m-07/002r9, "System Requirements Document (SRD)," Sep. 2009.
- [4] NGMN, "Recommendation on SON and O&M requirements," Dec. 2008.
- [5] NGMN, "Use cases related to self organising network, overall description," Dec. 2008.
- [6] X. Huang, W. Wiesbeck, and U. Behr, "Automatic cell planning for a low-cost and spectrum efficient wireless network," *GLOBECOM*, San Francisco, CA, USA, Nov. 27 - Dec. 1, 2000, pp. 276-282.
- [7] B. N. Clark, S. Colbourn David, and J. Charles, "Unit disk graphs," *Discrete mathematics*, Vol. 86, No. 1-3, 1990, pp. 165-177.
- [8] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *IEE*, Dec. 1974, pp. 1585-1588.
- [9] M. Sugeno, *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier Science Inc., 1985.
- [10] G. L. Stuber, *Principles of mobile communication*, Kluwer Academic Pub., 2001.
- [11] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part I: A technical overview and performance evaluation," Aug. 2006.
- [12] IEEE 802.16-2004, "Local and metropolitan networks - Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems," 2004.



서 신 석

2008 인하대학교, 컴퓨터공학과 학사

2008 ~ 현재 포항공과대학교, 컴퓨터공학과 통합 과정

<관심분야> 자가 구성 네트워크, 자율 컴퓨팅

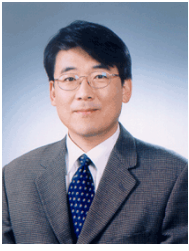


김 성 수

2007 성균관대학교, 컴퓨터공학과 학사

2007 ~ 현재 포항공과대학교, 컴퓨터공학과 통합 과정

<관심분야> 미래 인터넷, 서비스 관리



홍 원 기

1983 Univ. of Western Ontario, BSc in Computer Science

1985 Univ. of Western Ontario, MS in Computer Science

1985 ~ 1986 Univ. of Western Ontario, Lecturer

1986 ~ 1991 Univ. of Waterloo, PhD in Computer Science

1991 ~ 1992 Univ. of Waterloo, Post-Doc Fellow

1992 ~ 1995 Univ. of Western Ontario, 연구교수

1995 ~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수

2007~현재 포항공과대학교 정보통신대학원장

2007~현재 포항공과대학교 정보통신연구소 연구소장

2008~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 주임교수

2008~현재 포항공과대학교 정보전자융합공학부장

<관심분야> 네트워크 트래픽 모니터링, 네트워크 및 시스템 관리