

가변 상태 네트워크에 대한 통신망 근사 가용도 계정

정회원 이준혁*, 오영환**

Communication Network Approximation Availability Account for Variableness State Network

Jun-Hyuk Lee*, Young-hwan Oh** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 통신 상태의 변화를 갖는 네트워크에 대한 근사 가용도 계정을 제안하였다. 기존의 정확한 계정 방법은 전 확률 공식의 기본이론을 이용하여 모든 통신 상태의 변화에 대한 상태확률과 상태 가용도를 적용하여 계산하였으므로 계산한 가용도는 정확하지만 계정 과정이 복잡할 뿐만 아니라 통신망의 구조가 점점 복잡해질수록 가용도 계정식을 적용하는데 어려움이 있다. 최근 무선통신기술의 발전과 네트워크를 구성하는 장비들의 성능이 높아짐에 따라 실제 장비의 고장률이 10^{-9} 정도의 값을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 단말의 이동에 의해 통신 상태와 구조가 수시로 가변 하는 통신망에 대한 근사 가용도를 계정 및 계산하였고, 정확한 가용도 계정 방법과 비교 분석 하였다.

Key Words : Approximation Availability, Total Probability

ABSTRACT

In this paper, we proposed communication network approximation availability account for network that have communication change of state. Availability of communication network is increasing the importance as one of very important element to user as well as service provider. Mobile communication network changes communication state from time to time from special quality that terminal moves. Network must be able to use service continually in spite of change of state of this net. Existent correct communication network availability account has shortcoming that account form is complex as there are been a lot of communication structure and state. In this paper, real-time service proposed approximation availability account about network architecture of weighed voice service area in WCDMA network.

I. 서론

단말의 이동성을 지닌 무선 네트워크에서는 유선망과는 달리 단말의 이동으로 인하여 통신망의 성능에 많은 영향을 미친다^[1]. 또한 무선링크의 접속손실이나 기지국의 전송전력, 지형, 간섭 등의 영향으로 인한 시스템의 고장이 나기가 쉽다. 그러므로 무선망에서의 성능 평가는 기존의 유선망에서 보다 더 정확한 계정

과 분석이 이루어져야 한다. 통신망의 성능지표(Performance)의 하나로 가용도(Availability)를 사용한다. 가용도란 수리 가능한 부품 또는 시스템이 특정한 환경에서 주어진 일정 시간동안 요구되어지는 기능 또는 동작을 수행할 확률을 말한다^[2]. 최근 무선통신 기술이 발전함에 따라 많은 응용 분야에서 적용되고 있으며^[3], 그에 대한 무선망에 대한 가용도 분석도 활발히 진행되고 있는데 몇 가지를 분류하면 다음과

※ 이 논문은 2009년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

* 한국정보통신기술대학 정보통신설비과(jhlee@icpc.ac.kr), ** 광운대학교 전자통신공학과(yhoh@daisy.kw.ac.kr)

논문번호: 10001-0102, 논문제출일자: 2010년 1월 2일

같다. 먼저, 클러스터링을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크의 가용도를 측정하는 알고리즘이 제안되었고^[4]. 다양한 통신 구조를 갖는 무선 CORBA에 대한 신뢰도를 분석하는 계정이 연구되었다^[5]. 기존의 연구 방법에서는 정확한 가용도를 계산하기 위해서 적용하는 계정식이 복잡하다^[6]. 특히, 무선이동 통신 구조가 복잡하고 다양한 통신 형태로 구성 될 경우에는 기존의 계정식을 적용하기가 복잡하여 적용하기가 어려운 점이 있다. 최근 무선통신기술의 발전과 네트워크를 구성하는 장비들의 성능이 높아짐에 따라 실제 장비의 고장률이 10⁻⁹정도의 값을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 기존의 정확한 가용도 계정에서 고려하였던 모든 통신 상태를 고려하는 대신 이동통신기술의 발전에 따라 향상된 시스템의 성능과 시스템 구성품의 고장률이 크게 향상이 된 것을 근사 가용도 계정에 적용하여 가변하는 통신 상태를 갖는 네트워크 환경에서 효과적인 통신망의 근사 가용도 계정을 제안하였다.

2장에서는 관련이론을 설명하고 3장에서는 가용도 계정을 위한 네트워크의 그래프 성질과 구조를 분석하고 4장에서는 통신망의 근사 가용도 계정식을 제안하고 5장에서는 근사 가용도 계정의 실례를 들고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련이론

2.1 가용도 가정 및 정의

수리 가능한 시스템에 대하여 다음과 같은 가정 및 정의를 둔다^[7].

2.1.1 가정 1

부품이 시간 t=0에서 정상 동작 상태에서 고장이 날 경우에는 언제든지 새로운 부품으로 교체되거나 가능한 빠른 시간 내에 고장 이전의 상태로 수리된다.

2.1.2 가정 2

부품의 동작시간(Up time) T_1, T_2, \dots 은 독립적이고 일정한 분포함수 $F_T(t) = P(T_i \leq t), i = 1, 2, \dots$, 를 가지며, 평균고장간격(MTTF)라고 한다. 고장률(Failure rate) λ 을 갖는 수리 가능한 부품의 동작시간은 다음과 같이 표현한다.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

2.1.3 가정 3

부품의 고장시간(Downtime) 또는 수리시간(Repair

time) D_1, D_2, \dots 은 독립적이고 일정한 분포함수 $F_D(t) = P(D_i \leq t), i = 1, 2, \dots$,를 가지며, 평균수리 시간(MTTR)라고 한다. 수리율(Repair rate) μ 을 갖는 수리 가능한 부품의 고장시간은 다음과 같이 표현한다.

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2)$$

2.1.4 정의 1

시간 t에서 수리 가능한 부품의 Availability A(t)는 시간 t에서 부품이 동작할 확률과 같다. 즉,

$$A(t) = P(X(t) = 1) \quad (3)$$

만약에 부품이 수리되지 않았다면 $A(t) = R(t)$ 이다. 일반적으로 A(t)는 수명분포(Life distribution) $F_T(t)$ 와 수리시간 $F_D(t)$ 에 따른다.

2.1.5 정의 2

시간간격 $(0, \tau)$ 에서의 구간가용도 $A(0, \tau)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$A(0, \tau) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau A(t) dt \quad (4)$$

$A(0, \tau)$ 는 $(0, \tau)$ 동안 부품이 동작할 수 있는 평균 값으로 표현할 수 있다. 식(4)에서 $\tau \rightarrow \infty$ 로 두면, 부품의 무한 시간동안의 평균가용도를 얻을 수 있다. 한 부품이 수리가 되어 n에서 완전하게 동작할 경우에 동작시간을 T_1, T_2, \dots, T_n , 수리시간을 D_1, D_2, \dots, D_n 이라고 할 경우,

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \xrightarrow{P} E(T) &= MTTF, n \rightarrow \infty \text{ 경우} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \xrightarrow{P} E(D) &= MTTR, n \rightarrow \infty \text{ 경우} \end{aligned} \quad (5)$$

부품의 동작시간 비율은 다음과 같다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=1}^n D_i} = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n T_i}{(1/n) \sum_{i=1}^n T_i + (1/n) \sum_{i=1}^n D_i} \quad (6)$$

식(6)의 좌변을 다음과 같이 표현한다.

$$\frac{E(T)}{E(T) + E(D)} \quad n \rightarrow \infty \text{ 경우} \quad (7)$$

식(7)을 바탕으로 평균가용도 A_{av} (Average Availability)는 다음과 같이 정의한다.

2.1.6 정의 3

$$A = A_{av} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (8)$$

일반적으로 가용도 A를 일반가용도 A와 평균가용도 A_{av} 로 같이 사용된다.

2.2 WCDMA 네트워크

그림 1은 WCDMA 네트워크의 기본 구성도로 크게 단말(User Equipment, UE), 무선 접속망(UMTS Terrestrial Radio Access Network) 그리고 코어망(Core Network, CN)으로 구분할 수 있다⁹⁾.

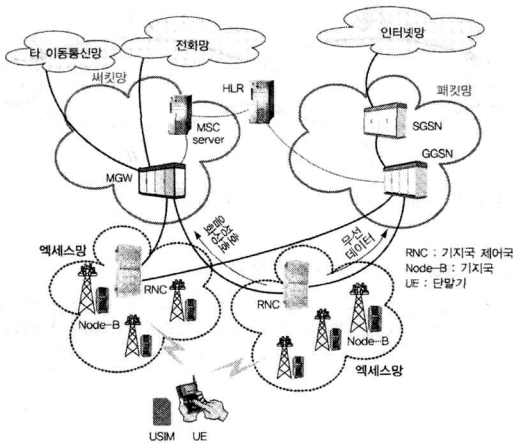


그림 1. WCDMA 네트워크의 기본 구성도

2.2.1 단말

GSM 시스템의 MS(Mobile Station)와 유사한 기능을 수행하며, 단말의 내부는 기능에 따라 ME(Mobile Equipment)와 USIM(UMTS Subscriber Identity Module)으로 구분할 수 있다.

2.2.2 무선 접속망

기지국(Node B)과 기지국 제어국(RNC)을 합쳐 무선 접속망(UTRAN)이라고 한다. Node B는 단말과의 물리적인 무선통신을 담당하는 기지국 장치이며, RNC에서 전달된 제어정보에 따라 단말과의 데이터 전송에 필요한 무선 물리 채널들을 설정하고, 데이터들을 적절한 노드로 전달하는 스위칭 기능을 수행한다.

2.2.3 코어망

코어망의 구성요소는 회선 교환망, 패킷 교환망, 레지스터(Register)영역에 속하는 노드들을 들 수 있다. 회선 교환망은 회선 교환 접속의 관리와 위치정보갱신, 위치정보등록, 호출 등의 이동성 관리와 더불어 데이터의 보안과 관련된 기능을 담당하는 MSC/VLR, 회선 교환 영역이 외부 망과 연결되는 통로 역할을 담당하는 GMSC(Gateway MSC)의 두 가지 요소로 이루어진다. 패킷 교환망은 무선 접속망으로 향하는 패킷 교환 서비스의 관리와 지원을 담당하는 SGSN (Serving GPRS Supporting Node)과 패킷 교환망을 인터넷 망과 같은 다른 패킷 교환망으로 연결시키는 GGSN(Gateway GPRS Supporting Node)으로 구성된다. 레지스터 영역은 가입자의 정적인 가입정보와 보안관련 정보를 저장 및 관리하며, HLR(Home Location Register), AuC(Authentication Center), EIR (Equipment Identity Register) 등이 포함되어 있다.

III. 네트워크 모델 및 통신 구조

3.1 네트워크 모델

본 논문에서 이동통신망의 네트워크 근사 가용도 계정을 위해 현재 서비스되고 있는 WCDMA 네트워크 모델을 적용하였다.

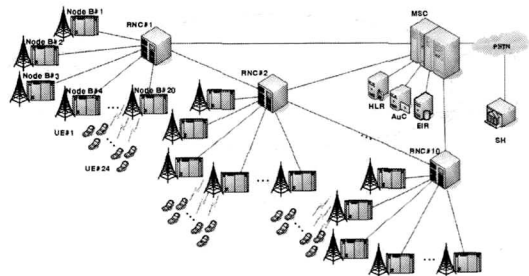


그림 2. 네트워크의 물리적 모델

3.2 그래프 모델

물리적 모델에 대한 상태와 상태 천이를 구하기 위해 그림 3과 같이 그래프 모델로 표현하였다.

3.2.1 MS 구조

UE와 SH 간의 통신 구조로서 UE가 이동하지 않은 일반적인 상태와 이동하는 상태로 나눈다. 그림 4는 MS 구조의 통신 상태를 나타내고, 그림 5는 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 표 1은 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

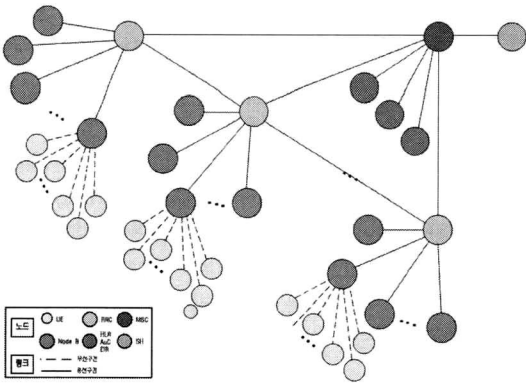


그림 3. 네트워크의 그래프 모델

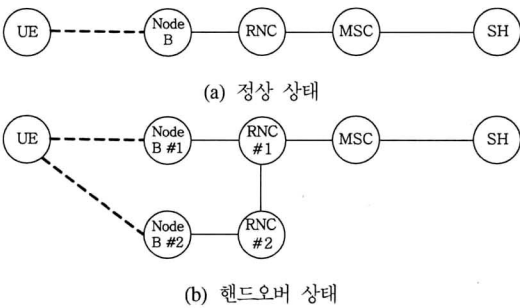


그림 4. MS 구조 상태

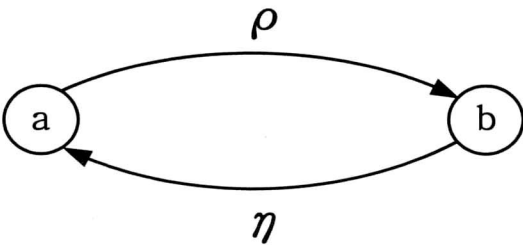


그림 5. MS 구조의 상태 천이 Diagram

표 1. 상태별 구성품 및 수량

상태 \ 구성품	UE	Node B	RNC	MSC	SH
a 상태	1	1	1	1	1
b 상태	1	2	2	2	1

3.2.2 SM 구조

SH와 UE 간의 통신 구조로서 위치 문의 상태, UE가 이동하지 않은 일반적인 상태, 이동 상태로 나눈다. 그림 6은 SM 구조의 통신 상태를 나타내고, 그림 7은 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 표 2는 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

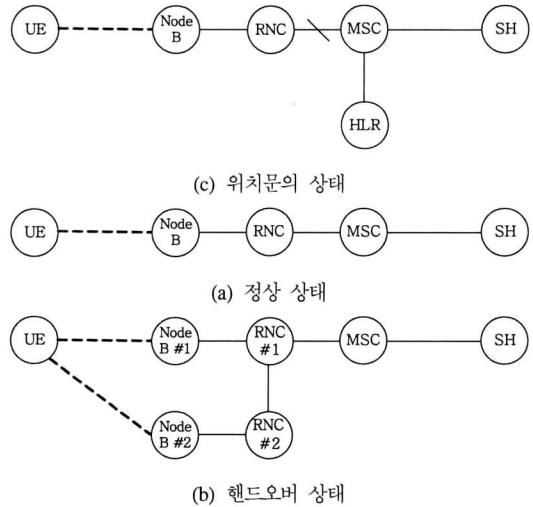


그림 6. SM 구조 상태

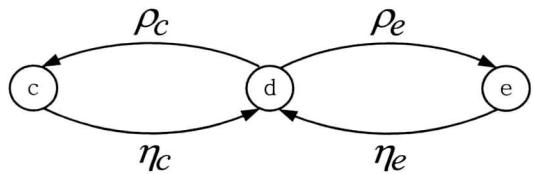


그림 7. SM 구조의 상태 천이 Diagram

표 2. SM 구조의 상태별 구성품 및 수량

상태 \ 구성품	UE	Node B	RNC	HLR	MSC	SH
c 상태	0	0	0	1	1	1
a 상태	1	1	1	0	1	1
b 상태	1	2	2	0	1	1

3.2.3 MM 구조

UE와 UE 간의 통신 구조로서 UE가 이동하지 않은 일반적인 상태, 하나의 단말이 이동하는 상태, 두 개의 단말이 이동하는 상태로 나눈다. 그림 8은 MM 구조의 통신 상태를 나타내고, 그림 9는 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 표 3은 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

표 3. MM 구조의 상태별 구성품 및 수량

상태 \ 구성품	UE	Node B	RNC	MSC
d 상태	2	2	2	1
e 상태	2	3	3	1
f 상태	2	3	3	1
g 상태	2	4	4	1

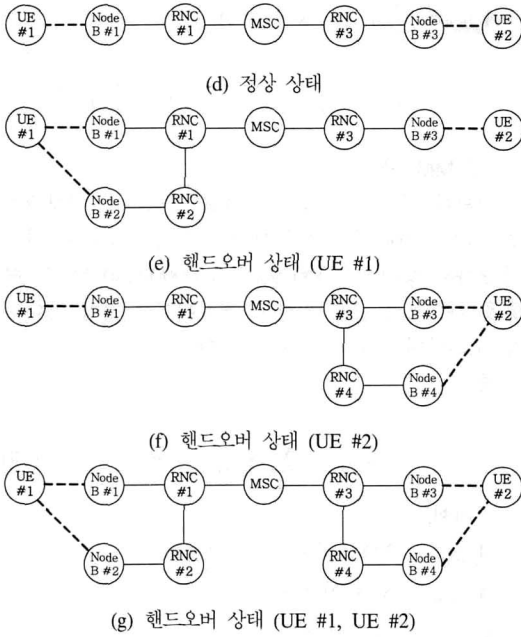


그림 8. MM 구조 상태

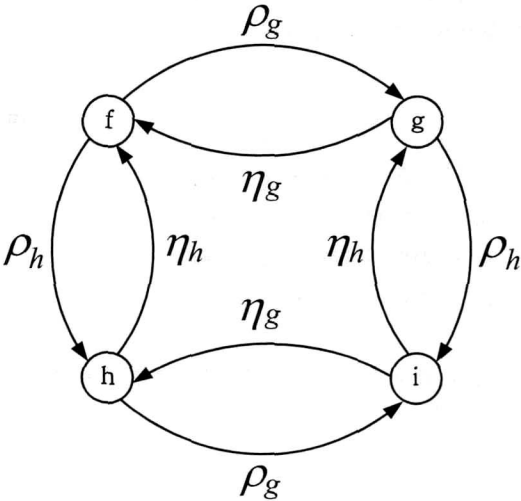


그림 9. MM 구조의 상태 천이 Diagram

IV. 제한한 근사 가용도 계정

전 확률 공식의 기본 이론을 이용한 시스템 근사 가용도를 다음과 같이 제안한다.

통신구조에 대한 근사 가용도는 상태 확률과 상태 가용도의 곱으로 표현한다.

즉,

$$A_{as} = \sum_n A_{as|\theta_n} \cdot \theta_n \quad (9)$$

여기서,

A_{as} : 시스템 근사 가용도, $s = \{MS, SM, MM\}$

$A_{as|\theta_n}$: 상태 가용도

θ_n : 상태 확률, $n = \{a, d\}$

4.1 MS 구조

정확한 가용도 계정에서 MS 구조는 정상상태와 핸드오버 상태의 2가지 상태를 가지고 있으나, 핸드오버 상태는 0.00048%의 확률값을 가지므로 근사 가용도 계정에서는 정상 상태만을 고려하여 다음과 같이 계정한다.

즉,

$$A_{a,MS} = \sum_a A_{a,MS\theta_a} \cdot \theta_a \quad (10)$$

여기서,

$A_{a,MS}$: MS 구조 근사 가용도

$A_{a,MS\theta_a}$: 상태 가용도

θ_a : 상태 확률

정상 상태 확률을 θ_a 라고 하고 Markov Process를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$\theta_a = \frac{\eta}{\eta + \rho} + \frac{\rho}{\eta + \rho} e^{-(\eta + \rho)t} \quad (11)$$

ρ : 상태 천이율 ($a \rightarrow b$)

η : 상태 천이율 ($b \rightarrow a$)

상태 확률이 발생한 조건에서의 상태 근사 가용도 $A_{a,MS\theta_a}$ 을 다음과 같이 구한다.

$$A_{a,MS\theta_a} = \frac{\mu_a}{\mu_a + \lambda_a} \quad (12)$$

구성품 고장률의 합과 수리율의 합은 다음과 같이 구한다.

$$\lambda_a = \lambda_{UE} + \lambda_{Node\ B} + \lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$

$$\mu_a = \mu_{UE} + \mu_{Node\ B} + \mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$

위의 식을 대입하여 정리하면,

$$A_{aMS} = \sum_{n=a} A_{aMS\theta_n} \cdot \theta_n = A_{aMS\theta_a} \cdot \theta_a$$

$$= \left(\frac{\mu_a}{\mu_a + \lambda_a} \right) \cdot \left(\frac{\eta}{\eta + \rho} + \frac{\rho}{\eta + \rho} e^{-(\eta + \rho)t} \right) \quad (13)$$

4.2 SM 구조

정확한 가용도 계정에서 SM 구조는 정상상태와 위치문의 상태, 핸드오버 상태의 3가지 상태를 가지고 있으나 위치문의 상태와 핸드오버 상태는 각각 0.00056%와 0.00048%의 확률값을 가지므로 근사 가용도 계정에서는 정상 상태만을 고려하여 다음과 같이 계정한다.

즉,

$$A_{aSM} = \sum_a A_{aSM\theta_a} \cdot \theta_a \quad (14)$$

여기서,

A_{aSM} : SM 구조 근사 가용도

$A_{aSM\theta_a}$: 상태 가용도

θ_a : 상태 확률

정상 상태 확률을 θ_a 라고 하고 Markov Process를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$\theta_a = \frac{1}{1 + (\rho_c/\eta_c) + (\rho_b/\eta_b)} \quad (15)$$

ρ_c : 상태 천이율 (a→c), ρ_e : 상태 천이율 (a→b)

η_c : 상태 천이율 (c→a), η_e : 상태 천이율 (b→a)

상태 확률이 발생한 조건에서의 상태 근사 가용도 $A_{aSM\theta_a}$ 을 구하면 다음과 같다.

$$A_{aSM\theta_a} = \frac{\mu_a}{\mu_a + \lambda_a} \quad (16)$$

구성품 고장률의 합과 수리율의 합은 다음과 같이 구한다.

$$\lambda_a = \lambda_{UE} + \lambda_{Node\ B} + \lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$

$$\mu_a = \mu_{UE} + \mu_{Node\ B} + \mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$

위의 식을 대입하여 정리하면,

$$A_{aSM} = \sum_{n=a} A_{aSM\theta_n} \cdot \theta_n = A_{aSM\theta_a} \cdot \theta_a$$

$$= \left(\frac{\mu_a}{\mu_a + \lambda_a} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + (\rho_c/\eta_c) + (\rho_b/\eta_b)} \right) \quad (17)$$

4.3 MM 구조

정확한 가용도 계정에서 MM 구조는 정상상태와 핸드오버 상태 등 4가지 상태를 가지고 있으나 나머지 3가지 상태는 0.00039%와 0.0000000015%의 확률을 가지므로 근사 가용도 계정에서는 정상 상태만을 고려하여 다음과 같이 계정한다.

즉,

$$A_{aMM} = \sum_d A_{aMM\theta_d} \cdot \theta_d \quad (18)$$

여기서,

A_{aMM} : MM 구조 근사 가용도

$A_{aMM\theta_d}$: 상태 가용도

θ_d : 상태 확률

정상 상태 확률을 θ_d 라고 하고 Markov Process를 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$\theta_d = \frac{\eta_f \eta_e}{(\rho_f + \eta_f)(\rho_e + \eta_e)} \quad (19)$$

ρ_e : 상태 천이율 (d→e, f→g)

ρ_f : 상태 천이율 (d→f, e→g)

η_e : 상태 천이율 (e→d, g→f)

η_f : 상태 천이율 (f→d, g→e)

상태 확률이 발생한 조건에서 상태 근사 가용도 $A_{aMM\theta_d}$ 을 구하면 다음과 같다.

$$A_{aMM\theta_d} = \frac{\mu_d}{\mu_d + \lambda_d} \quad (20)$$

구성품 고장률의 합과 수리율의 합은 다음과 같이 구한다.

$$\lambda_f = 2\lambda_{UE} + 2\lambda_{Node\ B} + 2\lambda_{RNC} + \lambda_{MSC}$$

$$\mu_f = 2\mu_{UE} + 2\mu_{Node\ B} + 2\mu_{RNC} + \mu_{MSC}$$

위의 식을 대입하여 정리하면,

$$A_{aMM} = \sum_d A_{aMM\theta_d} \cdot \theta_d = A_{aMM\theta_d} \cdot \theta_d$$

$$= \left(\frac{\mu_d}{\mu_d + \lambda_d} \right) \cdot \left(\frac{\eta_f \eta_e}{(\rho_f + \eta_f)(\rho_e + \eta_e)} \right) \quad (21)$$

V. 근사 가용도 계정 계산 예

4장에서 제안한 네트워크 모델에 대한 계정을 실예에 의한 수치 계산을 통하여 확인 한다. 근사 가용도를 계정하기 위해 사용한 주요장비의 고장율과 수리율은 다음과 같다^{[10],[11]}.

표 4. 주요 장비의 고장율과 수리율

구 분	UE, SH	Node B, RNC, HLR, MSC
고장률(λ)	3×10^{-8}	5×10^{-9}
수리율(μ)	6×10^{-4}	3×10^{-3}

5.1 구조별 근사 가용도

5.1.1 MS 구조

MS 구조의 근사 가용도는 4장에서 제안한 가용도 계정 계산에 의하여 다음과 같이 구한다.

표 5. MS 구조 근사 가용도

구 분	상태 확률	상태 가용도
근사가용도	0.99999515861770	0.999993069193503
	0.99998822784476	

5.1.2 SM 구조

SM 구조의 근사 가용도는 4장에서 제안한 가용도 계정 계산에 의하여 다음과 같이 구해진다.

표 6. SM 구조 근사 가용도

구 분	상태 확률	상태 가용도
근사 가용도	0.99998951366433	0.999993069193503
	0.99998258293051	

5.1.3 MM 구조

MM 구조의 근사 가용도는 4장에서 제안한 가용도 계정 계산에 의하여 다음과 같이 구해진다.

표 7. MM 구조 근사 가용도

구 분	상태 확률	상태 가용도
근사 가용도	0.99999221673286	0.999995158617699
	0.99998737538824	

5.2 비고 및 검토

구조별 정확한 가용도와 근사 가용도를 비교하면 표 8과 같다.

표 8에서와 같이 근사 가용도는 정확한 가용도와 약 10^{-4} 차이를 갖는 것을 확인 하였다. 앞으로 전자부품 기술의 발전과 품질성능이 향상 될수록 고장률은 점점 낮아 질것으로 볼 때 근사 가용도와 정확한 가용도의 차이는 미비할 것으로 본다. 따라서 제안한 근사 가용도 계정식은 기존의 정확한 가용도 계정식에 비하여 계산과정이 덜 복잡할 뿐만 아니라 가용도의 정확도 면에서도 효율적인 것으로 판단한다.

표 8. 구조별 정확한 가용도 및 근사 가용도

구 분	정확한 가용도	근사 가용도
MS 구조	0.99988177801172	0.99998822784476
SM 구조	0.99988177834155	0.99998258293051
MM 구조	0.99987906034842	0.99998737538824

VI. 결론 및 향후과제

이동 통신망에서는 유선과는 달리 이동 단말의 의해 통신 구조가 변하고, 통신 구조에 포함되는 구성품이 달라지므로 통신망에 대한 정확한 가용도 계정이 이루어져야 한다. 그러나 통신 구조가 다양해지고 통신 상태가 많아짐에 따라 정확한 가용도 계정식은 복잡해지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 가변 구조 네트워크에 대한 근사 가용도 계정을 계정하였다. 단말의 이동에 의해 MS 구조, SM 구조, MM 구조로 나누고, 각각의 구조에서 상태 확률과 상태 근사 가용도를 제안하는 계정식에 적용하였다. 제안한 계정은 기존의 정확한 계정식 보다 계정식의 복잡도가 낮아 계산량이 작을 뿐만 아니라 가용도의 차이도 근사한 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 장비의 고장률이 향상 될수록 그 차이도 줄어드는 것으로 확인 되었다.

참 고 문 헌

- [1] Yue Ma and James J.Han and Kishor S.Trivedi, "Composite Performance and Availability Analysis of Wireless Communication Networks", IEEE Trans. Vehicular Technology Vol.50, No. 5, p.1216, Sept. 2001.
- [2] Marvin Rausand and Arnljot HΦyland, System

