

핸드오프구조를 갖는 이동통신망의 네트워크 가용도 계정(I)

정회원 이 준 혁*, 오 영 환**

Network Availability Evaluation for Hand off Scheme in Mobile Communication Networks(I)

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

요 약

본 논문에서는 핸드오프 구조를 갖는 이동통신망에서 네트워크의 가용도 계정을 제안하였다. 무선이동 통신망에서는 단말의 이동에 따른 중단 없는 통신을 유지하기 위한 핸드오프 동작이 필수적이다. 단말의 이동으로 인하여 핸드오프 이전상태와 핸드오프 상태로 구분되고 각각의 상태에서 포함하고 있는 네트워크 구성품의 종류와 수량은 변한다. 통신망의 가용도는 시스템을 구성하고 있는 구성품의 고장률이 많은 영향을 미친다. 네트워크 가용도 계정을 위해 무선 CORBA의 MS, SM, MM 통신구조를 적용하였다. 본 연구에서 제안하는 이동통신망에서의 시스템 가용도는 각각의 통신구조에서 포함되어 있는 구성품의 수리률과 고장률을 이용하여 가용도를 계정하였다.

Key Words : CORBA, MS, SM, MM scheme, Availability

ABSTRACT

In this paper, I proposed Availability account of network in mobile communication network that have hand off scheme. Radio transfer communication network is essential hand off action to keep communication that is no discontinuance by transfer of terminal. Kind and quantity of network structure that is parting by state and hand off state ago hand off from transfer of terminal and include in each state change. Availability of communication network system failure rate of component structure a lot of effects reach. I applied radio CORBA's MS, SM, MM communication scheme for network Availability account. System Availability in mobile communication network that propose in this study uses the repair rate and failure rate of structure had included in each communication succor and Availability did account.

I. 서 론

통신망의 성능지표(Performance)의 하나로 이용되는 신뢰도(Reliability)의 대한 연구는 일반적으로 유선망(Wired Network)에 대한 영역이었다[1-5]. 유선망에서는 통신국과 통신국간 또는 단말(Terminal)

과 단말간의 통신이 이루어 질 때 통신망의 성능을 신뢰도로 평가하게 된다. 그러나 통신망을 구성하는 부품 또는 시스템은 고장이 발생하면, 부품을 교체하거나 수리 등의 방법으로 정비를 통하여 고장 이전의 정상상태(steady state)를 유지하고 있다. 그러므로 실제 수리 가능한 통신망에 대한 성능평가는

※ 이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의해 연구되었음.

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

논문번호 : 08040-0609, 접수일자 : 2008년 6월 9일

신뢰도보다 가용도(Availability)가 지표로 사용된다. 또한 최근에는 무선통신 기술의 발전에 따라 많은 응용분야에서 무선통신망이 적용되고 있으며[6], 그에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[7-8]. 사용자는 전통적인 유선망을 사용할 때와 동일한 서비스와 성능 및 가용도가 무선망에서도 보장되기를 기대하고 있다. 특히, 무선 네트워크에서는 단말의 로밍(Roaming) 보장과 지속적인 RF신호 유지가 성능과 가용도에 중요한 영향을 미친다[9]. 또한 무선망은 기존 유선망과는 달리 접속손실이나 전송전력, 지형, 간섭 등의 영향으로 인한 시스템의 고장이 나기가 쉽다. 그러므로 무선망에서의 가용도는 시스템의 성능에 많은 영향을 미치므로 정확한 계정과 분석이 이루어져야한다.

가용도(Availability)는 수리 가능한 부품 또는 시스템이 특정한 환경에서 주어진 일정 시간동안 요구되어지는 기능 또는 동작을 수행할 확률을 말한다. 지금까지 전통적인 단일 구성품 또는 단일 시스템에 대한 가용도 계정 방법에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있는데 몇 가지 방법론에 따라서 분류하면 다음과 같다.

먼저, 단일 시스템의 구성품이 갖는 고장률과 수리률을 이용하여 네트워크에 대한 가용도 계정이 제안되었고[10], 클러스터링을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크의 가용도를 계정하는 알고리즘이 제안되었다[11]. 기존 유선망은 고정된 시스템으로서 망의 변화가 없는 반면, 무선망은 단말의 이동전 상태와 이동에 따른 핸드오프(Hand off)상태로 나누어지고, 각각의 상태에서 포함되는 구성품은 달라진다. 그리고 무선이동통신망처럼 단말이 이동함에 따라 통신구조가 변하고, 통신에 포함되는 구성품과 수량이 다를 경우 기존의 가용도 계정은 적용할 수 없다. 본 논문에서는 각각의 상태에서 가지는 구성품의 고장률과 수리률을 이용하여 핸드오프구조를 갖는 이동통신망에 대한 네트워크 가용도 계정을 제안하였다.

2장에서는 가용도 계정의 이론을 설명하고 3장에서는 네트워크 가용도 계정을 설명하고 4장에서는 네트워크 가용도 계정을 제안하고 5장에서는 계정 계산 예를 들고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 가용도 계정 이론

2.1 수리 가능한 시스템

신뢰도를 계정할 때는 시스템이 처음 고장이 발

생한 부품은 폐기하는 것으로 가정하였다. 이 가정은 수학적으로 계산이 편리하고 간단하여 흔히 사용되었다[12].

그러나 실제로는 부품과 시스템은 고장이 발생하면 일반적으로 교체하거나 수리 등으로 정비를 수행한다. 일반적인 정비의 형태는 두 가지로 구분하는데, 고장정비와 예방정비가 있다.

1) 고장정비(Corrective Maintenance)

고장정비는 흔히 수리라고 불리며, 부품이 고장이 난 후에 수행된다. 고장정비의 목적은 부품이나 시스템을 가능한 빨리 고장이전의 상태로 복구시키는 것이다. 어떤 경우에는 고장정비는 한개 또는 그 이상의 부품을 교체하는 것을 의미하기도 한다.

2) 예방정비(Preventive Maintenance)

예방정비는 부품의 고장 날 확률을 줄이기 위해 노력하는 것이다. 예방정비는 매끄럽게 하기위한 윤활유를 바르거나, 미세한 수정(조정) 또는 마모되기 시작하는 부품의 일부 또는 전체를 교체하는 것을 의미하기도 한다. 주기적인 테스트와 상태 모니터링을 기초로 하는 정비 또한 예방정비로 간주한다.

본 논문에서는 가장 간단한 정비모델로 제한을 둔다. 즉, 고장후의 교체와 주기적인 테스트와 교체의 형태로 단순화 한다.

2.2 가용도 정의 및 가정

수리 가능한 시스템에 대하여 다음과 같은 가정 및 정의를 둔다.

[가정 1]

부품이 시간 $t=0$ 에서 정상동작 상태에서 고장이 날 경우에는 언제든지 새로운 부품으로 교체되거나 가능한 빠른 시간 내에 고장 이전의 상태로 수리된다. 그래서 부품의 연속 유효기간 또는 동작시간(Up-time) T_1, T_2, \dots 을 알 수 있다.

[가정 2]

동작시간(Up-time) T_1, T_2, \dots 은 독립적이고 일정한 분포를 갖는다.

분포함수 $F_T(t) = P(T_i \leq t), i=1,2,\dots$, 이며, 평균고장간격(MTTF)라고 한다.

즉, 동작시간이 독립적이고, 고장률(Failure rate) λ 와 지수분포를 갖는 수리 가능한 부품의 동작시간은 다음과 같이 표현한다.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

[가정 3]

부품이 고장이 발생하면 일정한 기간 동안 다운(Down)이 된다.

이것을 부품의 고장시간(Downtime) 또는 수리시간(Repair time)이라고 한다. 수리시간(Repair time) D_1, D_2, \dots 은 독립적이고 일정한 분포를 갖는다.

분포함수 $F_D(t) = P(D_i \leq t), i = 1, 2, \dots,$ 이며, 평균수리시간(MTTR)라고 한다.

즉, 고장시간이 독립적이고, 수리률(Repair rate) μ 과 지수분포를 갖는 수리 가능한 부품의 다운시간은 다음과 같이 표현한다.

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

[정의 1]

시간 t에서 수리 가능한 부품의 Availability A(t)는 시간 t에서 부품이 작할 확률과 같다.

즉,

$$A(t) = P(X(t) = 1) \tag{1}$$

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.

[정의 2]

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

$$A(0, \tau) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau A(t) dt \tag{2}$$

$A(0, \tau)$ 는 $(0, \tau)$ 동안 부품이 동작할 수 있는 평균값으로 표현할 수 있다.

식(2)에서 $\tau \rightarrow \infty$ 로 두면, 부품의 무한 시간동안의 평균가용도를 얻을 수 있다.

A는 부품이 동작하는 시간동안의 평균값으로 표현할 수 있다.

한 부품이 수리가 되어 n에서 완전하게 동작할 경우에 동작시간(Up time)은 T_1, T_2, \dots, T_n 이고 수리시간(Repair time)은 D_1, D_2, \dots, D_n 이라고 할 경우,

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \xrightarrow{P} E(T) = MTTF, n \rightarrow \infty \text{ 경우}$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \xrightarrow{P} E(D) = MTTR, n \rightarrow \infty \text{ 경우} \tag{3}$$

부품의 동작시간 비율은 다음과 같다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=1}^n D_i} = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n T_i}{(1/n) \sum_{i=1}^n T_i + (1/n) \sum_{i=1}^n D_i} \tag{4}$$

식(4)의 좌변을 다음과 같이 표현한다.

$$\frac{E(T)}{E(T) + E(D)} \quad n \rightarrow \infty \text{ 경우} \tag{5}$$

식(5)을 바탕으로 평균가용도 A_{av} (Average Availability)는 다음과 같이 정의한다.

[정의 3]

$$A = A_{av} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

$$= \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{6}$$

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

III. 네트워크 가용도 계정

3.1 네트워크 모델

본 논문에서 핸드오프 구조를 갖는 이동통신망의 네트워크 가용도 계정을 위해 CORBA기반의 통신 구조를 이용하였다. CORBA 기반의 무선네트워크는 다음과 같다^[13].

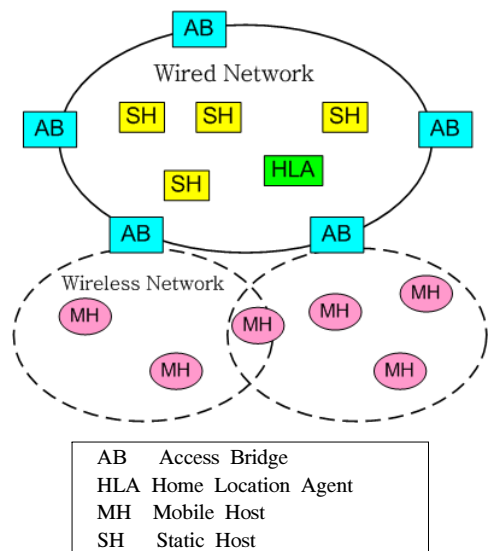


그림 1. CORBA 기반 무선 네트워크

1) MH(Mobile Host)

무선 인터페이스를 가진 이동단말로서, 무선 네트워크에서 로밍(Roaming)간 네트워크의 연결을 유지한다.

2) SH(Static Host)

일반적인 단말로서, 유선네트워크에 고정되어 있다.

3) AB(Access Bridge)

MH와 SH사이에 위치하며, MH의 메시지를 SH로 중계한다.

4) HLA(Home Location Agent)

등록된 MH의 위치를 추적하고, MH의 위치에 대한 정보를 제공한다.

CORBA구조는 직접 통신을 수행하는 이동단말과 고정단말간의 구성형태에 따라 SS(Static-Static), MS(Mobile-Static), SM (Static-Mobile), MM (Mobile-Mobile) 구조를 갖는다.

3.2 구조 모델

3.2.1 MS(Mobile-Static) 구조

MS구조의 통신상태는 그림 2에서 보는바와 같이 핸드오프 이전상태의 정상상태(a)와 핸드오프 처리 상태(b)로 구분할 수 있다.

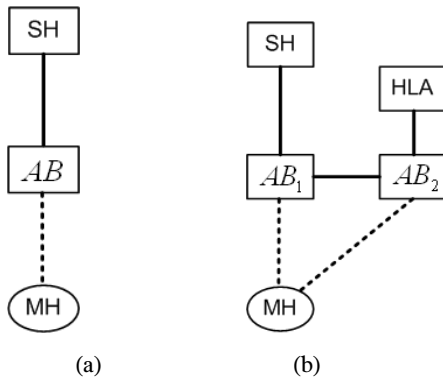


그림 2. MS구조의 통신상태

3.2.2 SM(Static-Mobile) 구조

SM구조는 Static Host가 Mobile Host와 통신하는 구조로서 네 가지의 통신상태를 가진다. 위치 확인하는 상태(c), 정상적인 통신상태(d), 핸드오프상태(e), 위치정보 및 전달상태(f), (g)로 구성된다. 그림 3은 SM구조의 통신상태를 나타낸다.

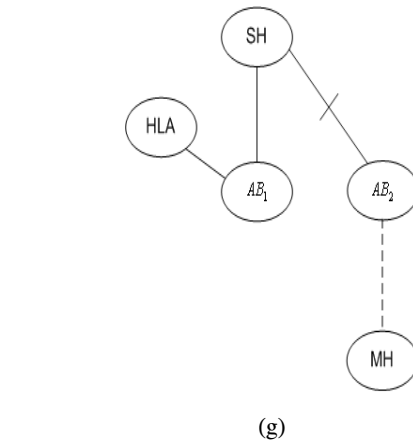
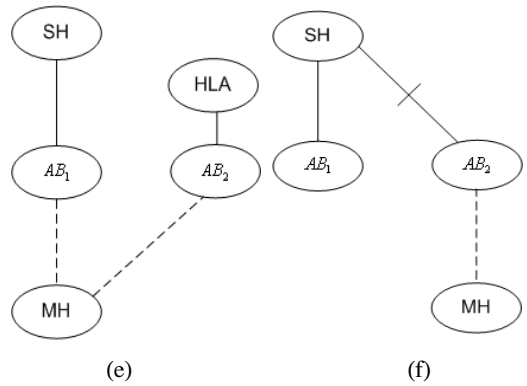
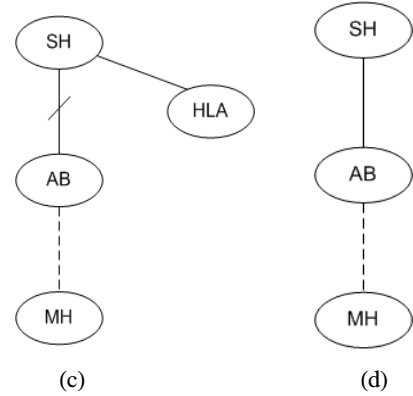


그림 3. SM구조의 통신상태

3.2.3 MM(Mobile-Mobile) 구조

MM구조는 Mobile Host가 Mobile Host와 통신하는 구조로서 11가지의 통신상태를 가진다. 그림 4는 MM구조의 통신상태를 나타낸다.

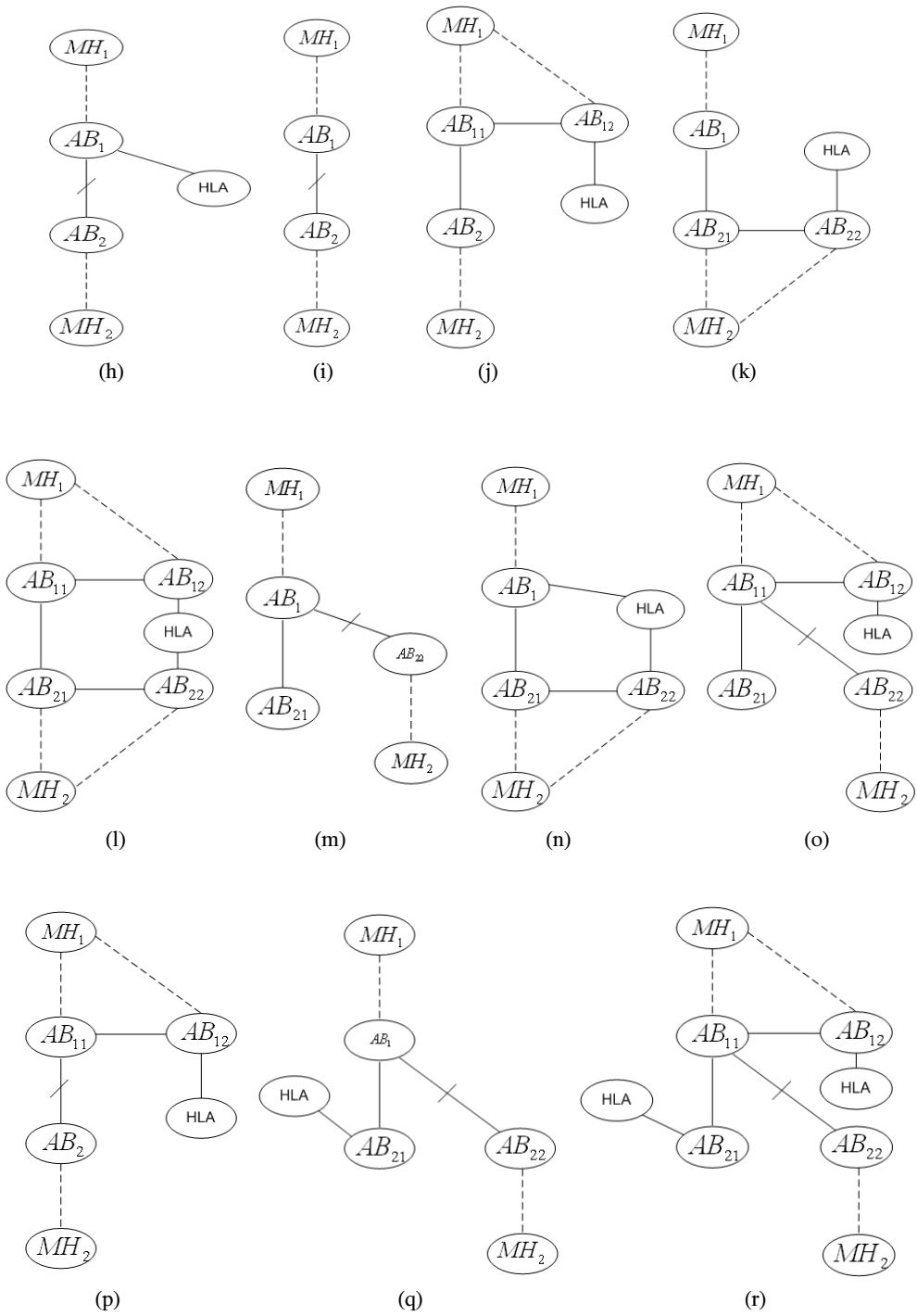


그림 4. MM 구조의 통신상태

IV. 제안하는 가용도 계정

4.1 MS 구조 가용도 계정

MS구조에서 가용도를 계정할 때 고려하여야 할 것은 다음과 같다. 통신시스템 상태 즉, 정상상태와 핸드오프상태에서 포함되어 있는 구성품의 고장률과 수리률이 모두 고려되어야 한다.

따라서, 각각의 상태에서 고장률과 수리률을 고려한 가용도 계정을 다음과 같이 제안한다.

$$A_{ab} = \frac{\mu_a + \mu_b}{(\mu_a + \mu_b) + (\lambda_a + \lambda_b)}$$

여기서,

μ_a : 정상상태에서의 구성품의 수리률의 합

μ_b : 핸드오프상태에서의 구성품의 수리률의 합

λ_a : 정상상태에서의 구성품의 고장률의 합

λ_b : 핸드오프상태에서의 구성품의 고장률의 합

4.2 SM 구조 가용도 계정

SM구조는 각각의 통신상태에 따라 포함되는 구성품과 수량이 서로 다르다. 그리고 MH의 위치정보 전달 방법에 따라 3가지 방식으로 나누어지며 방식별로 포함되는 통신상태는 상이하다.

표 1은 통신상태별 포함되는 구성품을 나타내고, 표 2는 방식별 포함되는 통신상태를 나타낸다.

각각의 상태에서 구성되어 있는 구성품이 다르고, 고장률과 수리률이 변하기 때문에 기존의 고정 부품 또는 시스템에서의 가용도 계정은 적용할 수 없다.

따라서 4가지 통신상태에서 갖는 구성품의 고장률과 수리률을 적용하면 가용도는 다음과 같다.

$$A_{LF-HLA} = \frac{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_f)}{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_f) + (\lambda_c + \lambda_d + \lambda_e + \lambda_f)}$$

$$A_{LF-QHLA} = \frac{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_g)}{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_g) + (\lambda_c + \lambda_d + \lambda_e + \lambda_g)}$$

$$A_{LF-AB} = \frac{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_f)}{(\mu_c + \mu_d + \mu_e + \mu_f) + (\lambda_c + \lambda_d + \lambda_e + \lambda_f)}$$

여기서,

$\mu_{c,d,e,f,g}$: 상태별 포함되는 구성품의 수리률의 합

$\lambda_{c,d,e,f,g}$: 상태별 포함되는 구성품의 고장률의 합

표 1. 통신상태별 구성품

구성품 상태	MH	AB	SH	HLA
C	1	1	1	1
D	1	1	1	
E	1	2	1	1
F	1	2	1	
G	1	2	1	1

표 2. 방식별 통신상태

통신상태 상태	C	D	E	F	G
LF-HLA	1	1	1	1	
LF-QHLA	1	1	1		1
LF-AB	1	1	1	1	

4.3 MM 구조 가용도 계정

MM구조는 각각의 통신상태에 따라 포함되는 구성품과 수량이 SM구조보다 더 복잡하다. 그리고 MH의 위치정보 전달 방법에 따라 SM구조와 같이 3가지 방식으로 나누어진다.

표 3은 통신상태별 포함되는 구성품을 나타내고, 표 4는 방식별 포함되는 통신상태를 나타낸다.

표 3. 통신상태별 구성품

구성품 상태	MH	AB	HLA
H	2	2	1
I	2	2	
J	2	3	1
K	2	3	1
L	2	4	1
M	2	3	
N	2	3	1
O	2	4	1
P	2	3	1
Q	2	3	1
R	2	4	2

표 4. 방식별 통신상태

통신상태 상태	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
LF-HLA	3	1	1	2	1	2	1	1	1		
LF-QHLA	2	1	1	2	1	1	1			1	1
LF-AB	3	1	1	2	1	2	1	1	1		

MM구조에서 네트워크 가용도는 11가지 통신상태에서 가지는 구성품의 수리률과 고장률을 이용하여 다음과 같이 제안한다.

$$A_{LF-HLA} = \frac{(3^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + 2^* \mu_m + \mu_n + \mu_o + \mu_p)}{(3^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + 2^* \mu_m + \mu_n + \mu_o + \mu_p) + (3^* \lambda_h + \lambda_i + \lambda_j + 2^* \lambda_k + \lambda_l + 2^* \lambda_m + \lambda_n + \lambda_o + \lambda_p)}$$

$$A_{LF-QHLA} = \frac{(2^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + \mu_m + \mu_n + \mu_q + \mu_r)}{(2^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + \mu_m + \mu_n + \mu_q + \mu_r) + (2^* \lambda_h + \lambda_i + \lambda_j + 2^* \lambda_k + \lambda_l + \lambda_m + \lambda_n + \lambda_q + \lambda_r)}$$

$$A_{LF-AB} = \frac{(3^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + 2^* \mu_m + \mu_n + \mu_o + \mu_p)}{(3^* \mu_h + \mu_i + \mu_j + 2^* \mu_k + \mu_l + 2^* \mu_m + \mu_n + \mu_o + \mu_p) + (3^* \lambda_h + \lambda_i + \lambda_j + 2^* \lambda_k + \lambda_l + 2^* \lambda_m + \lambda_n + \lambda_o + \lambda_p)}$$

여기서,

$\mu_{h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r}$

: 상태별 포함되는 구성품의 수리률의 합

$\lambda_{h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r}$

: 상태별 포함되는 구성품의 고장률의 합

V. 가용도 계정 예

가용도 계정의 계산을 위해 구성품의 고장률과 수리률을 다음과 같이 적용하여 가용도를 계정하였다.

표 5. 구성품의 고장률과 수리률

구성품	고장률(λ)	수리률(μ)
MH (α)	10^{-3}	1346
AB (β)	10^{-3}	1346
SH (γ)	10^{-4}	135
HLA (δ)	10^{-3}	346

5.1 MS 구조

표 6. 상태별 구성품에 따른 고장률과 수리률

구분	MH	AB	SH	HLA	고장률(λ)	수리률(μ)
A	1	1	1		0.0021	2827.0027869967
B	1	2	1	1	0.0041	4137.19459032846

표 7. MS 구조의 가용도

구분	고장률의 합(λ_{MS})	수리률의 합(μ_{MS})	가용도(A_{MS})
A,B	0.0062	7000.1973773252	0.999999114311472

5.2 SM 구조

표 8. 상태별 구성품에 따른 고장률과 수리률

구분	MH	AB	SH	HLA	고장률(λ)	수리률(μ)
C	1	1	1	1	0.0031	4173.19459032846
D	1	1	1		0.0021	2827.0027869967
E	1	2	1	1	0.0041	5519.38639366023
F	1	2	1		0.0031	4173.19459032846
G	1	2	1	1	0.0041	5519.38639366023

표 9. SM 구조의 가용도

구분	C	D	E	F	G
LF-HLA	1	1	1	1	
LF-QHLA	1	1	1		1
LF-AB	1	1	1	1	

구분	고장률의 합(λ_{SM})	수리률의 합(μ_{SM})	가용도(A_{SM})
LF-HLA	0.0124	16692.7783613139	0.999999257164355
LF-QHLA	0.0134	18038.9701646456	0.999999257164355
LF-AB	0.0124	16692.7783613139	0.999999257164355

5.3 MM 구조

표 10. 상태별 구성품에 따른 고장률과 수리률

구분	MH	AB	HLA	고장률(λ)	수리률(μ)
H	2	2	1	0.005	6730.95901665881
I	2	2		0.004	5384.7672332705
J	2	3	1	0.006	8077.15081999057
K	2	3	1	0.006	8077.15081999057
L	2	4	1	0.007	9423.34262332234
M	2	3		0.005	6730.95901665881
N	2	3	1	0.006	8077.15081999057
O	2	4	1	0.007	9423.34262332234
P	2	3	1	0.006	8077.15081999057
Q	2	3	1	0.006	8077.15081999057
R	2	4	2	0.008	10769.5344266541

표 11. MM 구조의 가용도

구분	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
LF-HLA	3	1	1	2	1	2	1	1	1		
LF-QHLA	2	1	1	2	1	1	1			1	1
LF-AB	3	1	1	2	1	2	1	1	1		

구분	고장률의 합 (λ_{MM})	수리률의 합 (μ_{MM})	가용도(A_{MM})
LF-HLA	0.073	98272.0016	0.999999257164354
LF-QHLA	0.064	86156.2754	0.999999257164355
LF-AB	0.073	98272.0016	0.999999257164354

5.4 제안한 계정의 검토

MS구조에서는 포함되는 구성품의 수량이 작고 구성품의 고장률과 수리률이 낮아 가용도는 낮은 값을 가지고, SM구조와 같이 통신에 포함되는 구성품이 많아질 경우 가용도는 향상이 되나 MM구조 처럼 통신에 포함되는 구성품의 수량이 급격히 증가할 경우에는 구성품의 고장률과 수리률 또한 증가하여 전체 시스템의 가용도가 낮아짐을 알 수 있다.

VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 핸드오프구조를 갖는 이동통신망에서 핸드오프 이전의 정상상태와 핸드오프상태로 구분하여 각각의 상태에서 포함되어 있는 구성품의 고장률과 수리률을 이용하여 전체 시스템의 가용도 계정을 제안하였다. MS구조에서는 두 가지 통신상태에 대한, 상태별 포함된 구성품의 고장률과 수리률을 이용하여 가용도를 계정하였고, SM구조에서는 5가지의 통신상태를 구성하고 있으며, MH의 정보 전달 방법에 따라 3가지 방식에 대한 가용도 계정 결과 동일한 가용도를 나타내고 있다. 이는 방식별 고장률과 수리률은 서로 다르나 같은 비율로 증가하였기 때문에 가용도는 동일하였다. MM구조에서는 두 단말의 이동으로 11가지의 통신상태를 가지며, 모든 상태에 포함되어 있는 구성품의 고장률과 수리률을 적용하였다. 본 논문에서 사용된 고장률과 수리률은 값의 차이가 크게 없기 때문에 가용도의 큰 변화가 없었다. 그러나 실제 운용되는 시스템의 값을 적용하여 계정 시에는 가용도가 크게 향상 될 것으로 판단한다.

향후과제로는 MM구조에서 보는 바와 같이 두 단말이 동시에 이동할 경우 포함되는 통신상태가

복잡하고, 구성품이 많아지기 때문에 고장률과 수리률을 이용한 가용도 계정은 많은 복잡도를 가지고 있다. 따라서 이동통신망에서의 효율적인 가용도 계정방법이 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] K. K. Aggarwal, J. S. Gupta, and K. B. Misra, "A simple method for reliability evaluation of a communication system," IEEE Trans. Commun., vol.23, no.5, pp.563 - 566, May 1975.
- [2] W. J. Ke and S.-D. Wang, "Reliability evaluation for distributed computing networks with imperfect nodes," IEEE Trans. Rel., vol.46, no.3, pp.342 - 349, Sept. 1997.
- [3] P. Kubat, "Estimation of reliability for communication/computer networks simulation/analytic approach," IEEE Trans. Commun., vol.37, no.9, pp.927-933, Sept. 1989.
- [4] S. M. Lee and D. H. Park, "An efficient method for evaluating network reliability with variable link capacities," IEEE Trans. Rel., vol.50, no.4, pp. 374-451, Dec. 2001.
- [5] J. Shaio, "A family of algorithms for network reliability problems," in Proc. of 2002 IEEE Int. Conf. Communications, vol.4, New York, Apr. 2002, pp.2167-2173.
- [6] R. B. Marks, I. C. Gifford, and B. O'Hara, "Standards in IEEE 802 unleash the wireless Internet," IEEE Microwave Magazine, vol.2, no.20, pp.46-56, June 2001.
- [7] 이준혁, 김경목, 오영환, "RBN과 MANET에서의 터미널간 신뢰도 평가", 한국신뢰성학회지, 신뢰성응용연구 제6권2호, pp. 187-194, 2006
- [8] 이준혁, 오영환, "클러스터 기반의 무선 분산 센서 네트워크에서의 터미널 간 신뢰도 평가", 한국신뢰성학회지, 신뢰성응용연구, 제6권4호, pp.297-306, 2006.
- [9] 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, pp. 1216, Sept. 2001.
- [10] Fabien Hou'eto and Aamuel Pierre, "Reliability and Cost Evaluation of Thrid-Generation Wireless

