DBpia

통신구조의 변화를 갖는 이동통신망에 대한 네트워크 공급자 측면의 가용도 계정

정회원 이 준 혁*, 오 영 환**

Availability Evaluation for Mobile Communication Networks that have a Change of Communication Scheme from the Network Provider Aspect

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

요 약

본 논문에서는 통신 구조의 변화를 갖는 이동통신망에 대한 네트워크 서비스 공급자 측면에서의 가용도 계정을 제안하였다. 이동통신 시스템 공급자는 시스템 사용자를 위해서 중단 없는 통신 서비스의 제공이 기본이다. 다양한 장비의 구성품으로 되어 있는 시스템의 가용도를 높이고, 장비를 동작 가능한 상태로 유지하기 위해서 장비에 대한 보전 관리가 필요하다. 이동통신망은 사용자가 이동하는 특성으로 인해 지속적으로 통신망의 구조가 다양한 형태로 변한다. 망의 구조 변화에 따라 구성되는 구성품 뿐만 아니라 수량이 다르게 된다. 본 논문에서는 WCDMA 네트워크에서 실시간 서비스가 중요시되는 음성 서비스 영역에 대한 네트워크 모델을 제안하고, 이를 그래프 모델로 분석하여 통신 구조별 Markov Process를 이용하여 고장률과 수리율에 따라 상태 천이 확률을 분석하였고, 조건부 확률을 포함한 전 확률 법칙을 적용하여 상태별 가용도를 계정하여 다양한 통신 구조를 갖는 시스템에 대한 전체 가용도를 계정한다. 이 계정을 통하여 네트워크 서비스를 제공하고 관리하는 공급자측면에서의 가용도를 향상시키기 위한 방안을 제시하였다.

Key Words : WCDMA, Provider Availability, Markov Process, failure rate, Total Probability law

ABSTRACT

In this paper, we proposed availability evaluation for Mobile Communication Networks that have change of communication Scheme from the network provider aspect. Provider of communication service that is no discontinuance for system user of Mobile Communication system provider is basis. That can heighten availability of system that consist of structure of various equipment, and act equipment to poise preservation government official for equipment need. Mobile Communication Network changes into that is various continuously from the unique feature called terminal mobility. Quantity as well as structure consisted according to structure change of network is differed. In this paper, real-time service proposes Network Model for weighed voice service area in WCDMA network, and whole availability for system that this analyzed state transition probability with use of Markov Process by analyze model into graph, and applies Total Probability law including conditional probability by state evaluation do and has various communication state does evaluation. Presented plan to improve Availability in Provider Aspect that offers Network service through this evaluate and manages.

* 한국정보통신기능대학 정보통신설비과(jhlee@icpc.ac.kr), ** 광운대학교 전자통신공학과(yhoh@daisy.kw.ac.kr)
논문번호 : 08079-1219, 투고일자 : 2008년 12월 19일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

통신망의 성능지표(Performance)의 하나로 이용되는 신뢰도(Reliability)의 대한 연구는 일반적으로 유선망(Wired Network)에 대한 영역이었다[1-5]. 그러나 실제 수리 가능한 통신망에 대한 성능평가는 신뢰도보다 가용도(Availability)가 지표로 사용된다. 가용도는 수리 가능한 부품 또는 시스템이 특정한 환경에서 주어진 일정 시간동안 요구되어지는 기능 또는 동작을 수행할 확률을 말한다[6]. 또한 최근에는 무선통신 기술의 발전에 따라 많은 응용분야에서 무선통신망이 적용되고 있으며[7], 그에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[8-9]. 특히, 무선 네트워크에서는 단말의 이동성 보장과 지속적인 RF신호 유지가 성능과 가용도에 중요한 영향을 미친다[10]. 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.

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 수리율을 이용하여 네트워크에 대한 가용도 계정이 제안되었고[11], 클러스터링을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크의 가용도를 계정하는 알고리즘이 제안되었고[12]. 다양한 통신 구조를 갖는 무선 CORBA에 대한 신뢰도를 분석하는 계정이 연구되었다[13]. 기존 유선망은 고정된 시스템으로서 망의 변화가 없는 반면, 무선망은 단말의 이동전 상태와 이동에 따른 핸드오버(Handover)상태로 나누어지고, 각각의 상태에서 포함되는 구성품은 달라진다. 그리고 무선 이동통신망처럼 단말이 이동함에 따라 통신구조가 변하고, 통신에 포함되는 구성품과 수량이 다를 경우 기존의 가용도 계정은 적용할 수 없다. 본 논문에서는 각각의 상태에서 가지는 구성품의 고장률과 수리율을 이용하여 핸드오버 구조를 갖는 이동통신망에 대한 네트워크 가용도 계정을 제안하였다.

2장에서는 관련이론을 설명하고 3장에서는 가용도 계정을 위한 WCDMA 네트워크 모델과 Markov Process를 이용하여 상태 천이확률을 분석하고 4장에서는 가용도 계정을 제안하고 5장에서는 제안한 모델에 대한 가용도 계정의 실예를 들고 6장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련이론

2.1 가용도 가정 및 정의

수리 가능한 시스템에 대하여 다음과 같은 가정 및 정의를 둔다[14].

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) $T_1, T_2, \ldots$은 독립적이고 일정한 분포함수 $F_T(t) = P(T_i \le t), i = 1,2,\ldots,$를 가지며, 평균고장간격(MTTF)라고 한다. 고장률(Failure rate) λ을 갖는 수리 가능한 부품의 동작시간은 다음과 같이 표현한다.

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

2.1.3 가정 3

부품의 고장시간(Downtime) 또는 수리시간(Repair time) $D_1, D_2, \ldots$은 독립적이고 일정한 분포함수 $F_D(t) = P(D_i \le t), i = 1,2,\ldots,$를 가지며, 평균수리시간(MTTR)라고 한다. 수리율(Repair rate) μ을 갖는 수리 가능한 부품의 고장시간은 다음과 같이 표현한다.

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \tag{2}$$

2.1.4 정의 1

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

$$A(t)=P(X(t)=1) \tag{3}$$

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.

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

$A(0,\tau)$는 $(0,\tau)$동안 부품이 동작할 수 있는 평균값으로 표현할 수 있다. 식(4)에서 $\tau \to \infty$로 두

www.dbpia.co.kr

면, 부품의 무한 시간동안의 평균가용도를 얻을 수 있다. 한 부품이 수리가 되어 n에서 완전하게 동작할 경우에 동작시간을 $T_1, T_2, ..., T_n$, 수리시간을 $D_1, D_2, ..., D_n$ 이라고 할 경우,

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

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D_i \xrightarrow{P} E(D) = MTTR,\ n \to \infty \text{ 경우} \quad (5)$$

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.

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

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 전 확률 법칙(Law of total probability)

표본 공간 S에서 정의되는 어떤 사건 A의 확률 P(A)는 조건부 확률들로 표현할 수 있다. N 개의 상호 배반적인 사건 $B_n,\ n = 1, 2, ..., N$이 있으며, 그림 1에서와 같이 이들의 합집합은 S와 같다고 가정한다. 이 사건들은 다음 식을 만족하며,

$$B_m \cap B_n = \varnothing, \quad m \neq n = 1, 2, ..., N \quad (9)$$

$$\bigcup_{n=1}^{N} B_n = S \quad (10)$$

사건 A의 전 확률을 다음과 같이 정의한다[15].

$$P(A) = \sum_{n=1}^{N} P(A \mid B_n) P(B_n) \quad (11)$$

2.3 WCDMA 네트워크

그림 2는 WCDMA 네트워크의 기본 구성을 나타내고

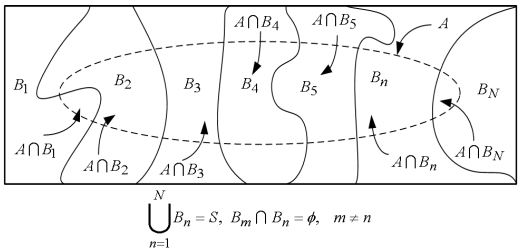


그림 1. N개의 상호 배타적인 사건 B_n과 다른 사건 A의 벤 다이어그램

있다. WCDMA 시스템은 크게 단말(User Equipment), 무선 접속망(UMTS Terrestrial Radio Access Network) 그리고 코어망(Core Network)으로 구분할 수 있다[16].

2.3.1 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.

2.3.2 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.

2.3.3 코어망

코어망의 구성요소는 회선 교환망, 패킷 교환망, 레지스터(Register)영역에 속하는 노드들을 들 수 있다. 회선 교환망은 회선 교환 접속의 관리와 위치정

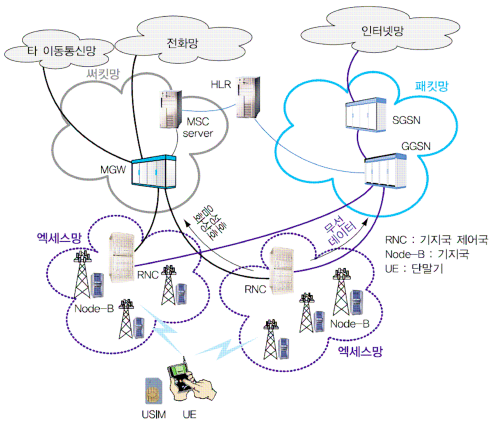


그림 2. WCDMA 네트워크의 기본 구성도

www.dbpia.co.kr

보갱신, 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 제안

3.1 WCDMA 네트워크의 물리적 모델

본 논문에서 이동 통신망의 네트워크 가용도 계정을 위해 현재 서비스되고 있는 WCDMA 네트워크 모델을 제안하였다. WCDMA 네트워크 시스템에서 실시간 서비스를 요구하는 음성 영역은 패킷 영역에 비해 데이터의 지연 등에 매우 민감한 반면, 패킷 영역은 지연보다는 데이터의 에러에 민감하다. 따라서 본 논문에서는 음성 서비스영역에 대한 시스템 모델을 제안하였다. 제안하는 네트워크 모델은 한 개의 MSC가 10개의 RNC를 관리하고, 한 개의 RNC는 20개의 Node B를 관리하며, 24개 정도의 UE를 한 개의 Node B가 관리한다. 제안하는 WCDMA 네트워크 모델은 그림 3과 같다.

3.2 WCDMA 네트워크의 그래프 모델

제안하는 WCDMA 네트워크의 물리적 모델에 대한 상태 구조와 상태 천이 확률을 분석하기 위해 그림 4와 같이 그래프 모델로 표현하였다.

3.3 그래프 모델 분석

WCDMA 네트워크의 변화하는 통신 구조를 분석하기 위해 Markov Process를 적용하였다.

공급자 관점에서의 네트워크의 구조는 MS(UE-Static Host), SM(Static Host-UE), MM(UE-UE) 통신 구조로 나누어진다. 각 구조별 통신 상태는 그림 5와 같다.

3.3.1 MS 구조

MS 구조는 UE(User Equipment)에서 Static Host로 통신하는 구조로서 핸드오버가 발생하지 않은 normal 상태와 단말의 이동으로 인한 핸드오버 상태로 나눈다. normal 상태를 고장이 나지 않은 시스템의 정상 상태, 핸드오버 상태를 시스템의 고장 상태로 둔다. 정상 상태에서 고장 상태로의 천이는 구성품들의 고장률의 합에 의해 천이하고, 정상 상태로의 천이는 수리율의 합에 의한다. 그림 6은 MS 구조에서의 통신 상태를 나타내고, 그림 7은 정상 및 고장 상태로의 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 표 1은 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

3.3.2 SM 구조

SM 구조는 Static Host에서 UE로 통신하는 구조

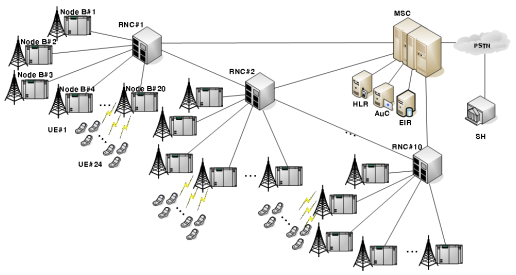


그림 3. 제안한 WCDMA 네트워크의 물리적 모델

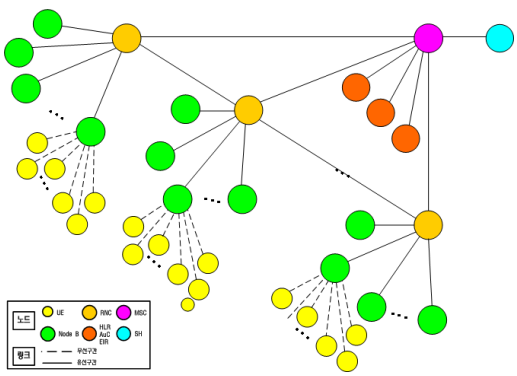


그림 4. 제안한 WCDMA 네트워크의 그래프 모델

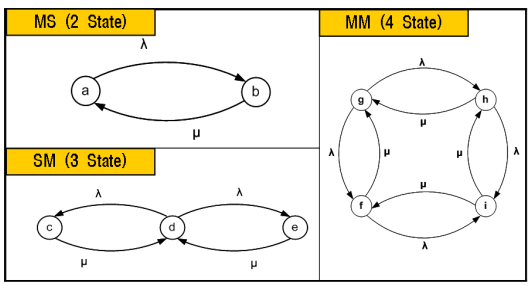
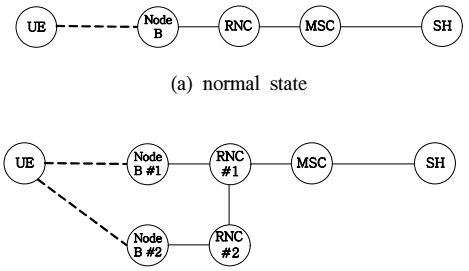


그림 5. 공급자 측면의 구조별 통신 상태

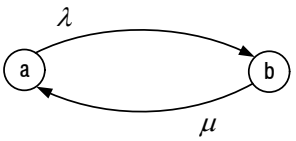
www.dbpia.co.kr



(a) normal state

(b) handover procedure

그림 6. 통신 상태



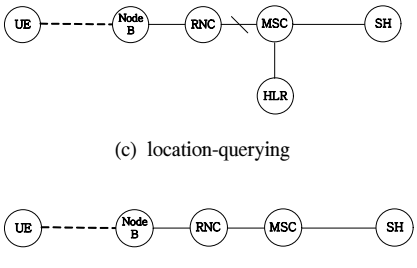
λ : b 상태의 고장률의 합
μ : b 상태의 수리율의 합

그림 7. 상태 천이 Diagram

표 1. 상태별 구성품 및 수량

구성품수 / 상태	UE	Node B	RNC	MSC	SH
a	1	1	1	1	1
b	1	2	2	2	1

로서 위치문의 상태, normal 상태, 핸드오버 상태의 세 가지 상태로 나누어진다. Static Host는 PSTN에 연결된 고정 단말로서 WCDMA 네트워크의 MSC와 서로 다른 망에 접속되어 있다. 따라서 PSTN의 Static Host가 UE로의 연결을 요구하면 바로 연결될 수 가 없고, MSC가 HLR을 통해 UE의 위치를 확인하는 과정을 거쳐야 한다. 이 상태를 위치문의 상태라고 한다. 위치문의 과정을 거친 후에는 정상적인 normal 상태가 되고, 수신측 UE가 이동할 경우에는 핸드오버 상태가 되고 핸드오버가 완료된 후에는 다시 normal 상태가 된다. 여기서는 normal 상태를 고장 나지 않은 상태라고 하면, 위치문의 상태와 핸드오버 상태를 각각 서로 다른 고장률에 의한 고장 상태로 본다. 정상 상태에서 고장 상태로의 천이는 각각의 상태에서 포함되어 있는 구성품들의 고장률의 합에 의해 천이하고 수리율의 합에 의해 정상 상태로 천이한다. 그림 8은 SM 구조에서의 통신 상태를 나타내고, 그림 9는 세 가지 상태에 대한 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 그리고 표 2

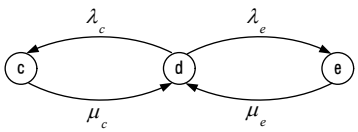


(c) location-querying

(d) normal state

(e) handover procedure

그림 8. 통신 상태



λ_c, λ_e : c, e 상태의 고장률의 합
μ_c, μ_e : c, e 상태의 수리율의 합

그림 9. 상태 천이 Diagram

표 2. 상태별 구성품 및 수량

구성품수 / 상태	UE	Node B	RNC	MSC	HLR	SH
c	0	0	0	1	1	1
d	1	1	1	1	0	1
e	1	2	2	1	0	1

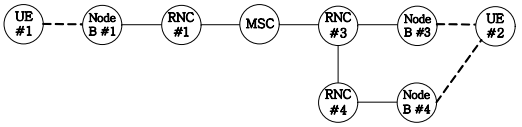
는 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

3.3.3 MM 구조

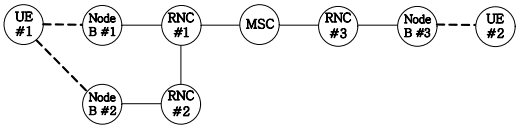
MM 구조는 두 UE 간의 통신 구조로서 UE의 핸드오버 상태에 따라 구조가 네 가지 상태로 나누어진다. 먼저, 두 UE가 핸드오버하지 않는 normal 상태를 기준으로 하여, 두 개의 단말 중 하나가 이동하는 경우와 반대의 단말이 이동하는 경우, 그리고 한 단말이 이동하는 상태에서 나머지 단말이 이동하는 경우와 그 반대의 경우이다. 여기서 통신을 하기 위한 수신측 단말에 대한 위치문의 과정은 생략하였다. normal 상태에서 단말이 이동을 하면 핸드오버 동작이 이루어지며, 핸드오버 완료 후에는 다시 normal 상태가 된다. 매우 짧은 시간 동안의 Markov 상태를 설명하기 위해 normal 상태에서 두

www.dbpia.co.kr

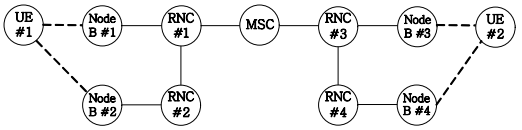
(f) normal state



(g) handover procedure (UE#2)

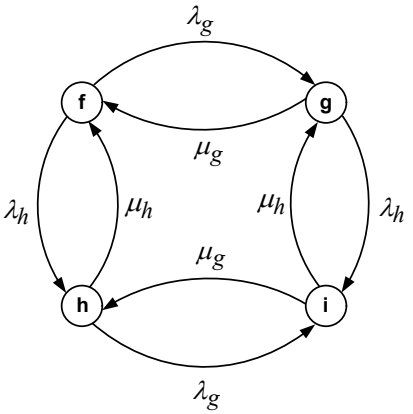


(h) handover procedure (UE#1)



(i) handover procedure (UE#1, UE#2)

그림 10. 통신 상태



λ_f, λ_g, λ_h, λ_i : f, g, h, i 상태의 고장률의 합
μ_f, μ_g, μ_h, μ_i : f, g, h, i 상태의 수리율의 합

그림 11. 상태 천이 Diagram

단말이 동시에 이동하는 경우는 생략하기로 한다.

MM 구조에서는 normal 상태를 정상 상태, 나머지 상태를 고장 상태로 두고, 고장 상태로의 천이는 각각의 상태를 구성하고 있는 구성품의 고장률의 합에 의한다. 정상 상태로의 천이는 수리율의 합에 의한다. 그림 10은 MM 구조에서의 통신 상태를 나타내고, 그림 11은 네 가지 상태에 대한 상태 천이 Diagram을 나타내었다. 그리고 표 3은 상태별 포함되는 구성품과 수량이다.

표 3. 상태별 구성품 및 수량

구성품수 / 상태	UE	Node B	RNC	MSC
f	2	2	2	1
g	2	3	3	1
h	2	3	3	1
i	2	4	4	1

Ⅳ. 네트워크의 가용도 계정

4.1 Provider Availability 계정

공급자 측면에서의 가용도를 MS, SM, MM 구조에 대하여 각각 다음과 같이 계정한다.

4.1.1 MS 구조 가용도

MS 구조는 시스템 상태가 normal 상태 (a)와 고장 상태 (b) 두 가지이다. 제안하는 가용도 계정은 (a)상태 확률 값 $\pi_a(t)$, (b)상태 확률 값 $\pi_b(t)$ 그리고 각각의 상태가 발생한 조건에서 갖는 상태의 가용도는 관련이론 2.2에 의하여 $A_a(t)$, $A_b(t)$로 정의한다. 따라서 MS구조에서의 전체 시스템 가용도는 다음과 같다.

$$PA_{MS}(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)]$$

$PA_{MS}(t)$: MS 구조의 공급자 가용도
$\pi_s(t)$: 시스템 상태 확률, $s = \{a, b\}$
$A_s(t)$: 가용도, $s = \{a, b\}$
$[A_s(t)|\pi_s(t)]$: 상태 확률 조건에서의 가용도

먼저, 각각의 상태에 있을 확률을 구하기 위해 Markov Process를 이용하여 상태 확률 값을 분석하였다. 두 상태가 갖는 확률 값의 합은 반드시 1이 되어야 한다.

$$\pi_a(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$

$$\pi_b(t) = \frac{\lambda}{\mu+\lambda} - \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$

$$\pi_a(t) + \pi_b(t) = 1$$

$$[A_a(t)|\pi_a(t)] = \frac{\mu_a}{\mu_a+\lambda_a},$$

www.dbpia.co.kr

$$[A_b(t)|\pi_b(t)] = \frac{\mu_b}{\mu_b+\lambda_b}$$

λ_a, λ_b : a, b 상태의 고장률의 합

μ_a, μ_b : a, b 상태의 수리율의 합

위의 값을 제안하는 계정으로 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} PA_{MS}(t) &= \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)] \\ &= \pi_a(t) \cdot [A_a(t)|\pi_a(t)] + \pi_b(t) \cdot [A_b(t)|\pi_b(t)] \\ &= \left[\frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu}e^{-(\lambda+\mu)t}\right] \cdot \left[\frac{\mu_a}{\mu_a+\lambda_a}\right] \\ &\quad + \left[\frac{\lambda}{\mu+\lambda} - \frac{\lambda}{\lambda+\mu}e^{-(\lambda+\mu)t}\right] \cdot \left[\frac{\mu_b}{\mu_b+\lambda_b}\right] \end{aligned}$$

$$\lambda_a = \lambda_{UE} + \lambda_{BTS} + \lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\lambda_b = \lambda_{UE} + 2\lambda_{BTS} + 2\lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\mu_a = \mu_{UE} + \mu_{BTS} + \mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$
$$\mu_b = \mu_{UE} + 2\mu_{BTS} + 2\mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$

4.1.2 SM 구조 가용도

SM 구조는 정상 상태 (d)와 두 가지의 고장 상태 (c)와 (e)를 갖는 구조이다. 정상 상태 확률 값을 $\pi_d(t)$, 고장 상태 확률 값을 $\pi_c(t)$, $\pi_e(t)$라 하고, 각각의 상태 확률이 발생한 조건에서 갖는 상태의 가용도는 관련이론 2.2에 의하여 $A_c(t)$, $A_d(t)$, $A_e(t)$라고 정의할 때 시스템의 가용도는 다음과 같이 계정한다.

$$PA_{SM}(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)]$$

$PA_{SM}(t)$: SM 구조의 공급자 가용도

$\pi_s(t)$: 시스템 상태확률, $s = \{c,d,e\}$

$A_s(t)$: 가용도, $s = \{c,d,e\}$

$[A_s(t)|\pi_s(t)]$: 상태확률 조건에서의 가용도

먼저, Markov Process를 이용하여 3 State 확률 값을 분석하였다. 상태 확률 값의 합은 역시 1이다.

$$\pi_c(t) = \frac{\lambda_c}{\mu_c}\pi_d$$

$$\pi_d(t) = \frac{\mu_d\mu_e}{\lambda_d\mu_e + \lambda_e\mu_c + \mu_d\mu_e} = \frac{1}{1+(\lambda_c/\mu_c)+(\lambda_e/\mu_e)}$$

$$\pi_e(t) = \frac{\lambda_e}{\mu_e}\pi_d$$

$$\pi_c(t) + \pi_d(t) + \pi_e(t) = 1$$

$$[A_c(t)|\pi_c(t)] = \frac{\mu_c}{\mu_c+\lambda_c},$$

$$[A_d(t)|\pi_d(t)] = \frac{\mu_d}{\mu_d+\lambda_d}$$

$$[A_e(t)|\pi_e(t)] = \frac{\mu_e}{\mu_e+\lambda_e}$$

λ_c, λ_d, λ_e : c, d, e 상태의 고장률의 합

μ_c, μ_d, μ_e : c, d, e 상태의 수리율의 합

위의 값을 대입하여 정리하면,

$$\begin{aligned} PA_{SM}(t) &= \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)] \\ &= \pi_c(t) \cdot [A_c(t)|\pi_c(t)] + \pi_d(t) \cdot [A_d(t)|\pi_d(t)] \\ &\quad + \pi_e(t) \cdot [A_e(t)|\pi_e(t)] \\ &= \left[\frac{\lambda_c}{\mu_c}\pi_d\right] \cdot \left[\frac{\mu_c}{\mu_c+\lambda_c}\right] \\ &\quad + \left[\frac{1}{1+(\lambda_c/\mu_c)+(\lambda_e/\mu_e)}\right] \cdot \left[\frac{\mu_d}{\mu_d+\lambda_d}\right] \\ &\quad + \left[\frac{\lambda_e}{\mu_e}\pi_d\right] \cdot \left[\frac{\mu_e}{\mu_e+\lambda_e}\right] \end{aligned}$$

$$\lambda_c = \lambda_{HLR} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\lambda_d = \lambda_{UE} + \lambda_{BTS} + \lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\lambda_e = \lambda_{UE} + 2\lambda_{BTS} + 2\lambda_{RNC} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\mu_c = \lambda_{HLR} + \lambda_{MSC} + \lambda_{SH}$$
$$\mu_d = \mu_{UE} + \mu_{BTS} + \mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$
$$\mu_e = \mu_{UE} + 2\mu_{BTS} + 2\mu_{RNC} + \mu_{MSC} + \mu_{SH}$$

4.1.3 MM 구조 가용도

MM 구조는 하나의 정상 상태 (f)와 3가지의 고장 상태 (g), (h), (i)를 갖는 구조이다. 정상 상태 확률 값을 $\pi_f(t)$, 고장 상태 확률 값을 $\pi_g(t)$, $\pi_h(t)$, $\pi_i(t)$라 하고, 고장 상태 확률이 발생한 조건에서 갖는 각 상태의 가용도는 관련이론 2.2에 의하여 $A_f(t)$, $A_g(t)$, $A_h(t)$, $A_i(t)$라고 정의할 때 시스템의 가용도는 다음과 같이 계정한다.

$$PA_{MM}(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)]$$

$PA_{MM}(t)$: MM 구조의 공급자 가용도

$\pi_s(t)$: 시스템 상태 확률, $s = \{f,g,h,i\}$

$A_s(t)$: 가용도, $s = \{f,g,h,i\}$

www.dbpia.co.kr

$[A_s(t)|\pi_s(t)]$: 상태 확률 조건에서의 가용도

4 State 확률 값을 Markov Process를 이용하여 분석하였고, 이때 상태 확률 값의 합은 1이 되어야 한다.

$$\pi_f(t) = \frac{\mu_g\mu_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}$$
$$\pi_g(t) = \frac{\lambda_g\mu_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}$$
$$\pi_h(t) = \frac{\lambda_h\mu_g}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}$$
$$\pi_f(t) = \frac{\lambda_g\lambda_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}$$
$$\pi_f(t)+\pi_g(t)+\pi_h(t)+\pi_i(t) = 1$$

$$[A_f(t)|\pi_f(t)] = \frac{\mu_f}{\mu_f+\lambda_f},$$
$$[A_g(t)|\pi_g(t)] = \frac{\mu_g}{\mu_g+\lambda_g}$$
$$[A_h(t)|\pi_h(t)] = \frac{\mu_h}{\mu_h+\lambda_h},$$
$$[A_i(t)|\pi_i(t)] = \frac{\mu_i}{\mu_i+\lambda_i}$$

$\lambda_f, \lambda_g, \lambda_h, \lambda_i$: f, g, h, i 상태의 고장률의 합

$\mu_f, \mu_g, \mu_h, \mu_i$: f, g, h, i 상태의 수리율의 합

$$PA_{MM}(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot A_s(t) = \sum_s \pi_s(t) \cdot [A_s(t)|\pi_s(t)]$$
$$= \pi_f(t) \cdot [A_f(t)|\pi_f(t)] + \pi_g(t) \cdot [A_g(t)|\pi_g(t)]$$
$$+ \pi_h(t) \cdot [A_h(t)|\pi_h(t)] + \pi_i(t) \cdot [A_i(t)|\pi_i(t)]$$
$$= \left[\frac{\mu_g\lambda_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}\right] \cdot \left[\frac{\mu_f}{\mu_f+\lambda_f}\right]$$
$$+ \left[\frac{\lambda_g\mu_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}\right] \cdot \left[\frac{\mu_g}{\mu_g+\lambda_g}\right]$$
$$+ \left[\frac{\lambda_h\mu_g}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}\right] \cdot \left[\frac{\mu_h}{\mu_h+\lambda_h}\right]$$
$$+ \left[\frac{\lambda_g\lambda_h}{(\lambda_g+\mu_g)(\lambda_h+\mu_h)}\right] \cdot \left[\frac{\mu_i}{\mu_i+\lambda_i}\right]$$

$$\lambda_f = 2\lambda_{UE}+2\lambda_{BTS}+2\lambda_{RNC}+\lambda_{MSC}$$
$$\lambda_g = 2\lambda_{UE}+3\lambda_{BTS}+3\lambda_{RNC}+\lambda_{MSC}$$
$$\lambda_h = 2\lambda_{UE}+3\lambda_{BTS}+3\lambda_{RNC}+\lambda_{MSC}$$
$$\lambda_i = 2\lambda_{UE}+4\lambda_{BTS}+4\lambda_{RNC}+\lambda_{MSC}$$

$$\mu_f = 2\mu_{UE}+2\mu_{BTS}+2\mu_{RNC}+\mu_{MSC}$$
$$\mu_g = 2\mu_{UE}+3\mu_{BTS}+3\mu_{RNC}+\mu_{MSC}$$
$$\mu_h = 2\mu_{UE}+3\mu_{BTS}+3\mu_{RNC}+\mu_{MSC}$$
$$\mu_i = 2\mu_{UE}+4\mu_{BTS}+4\mu_{RNC}+\mu_{MSC}$$

Ⅴ. 네트워크의 가용도 계정 계산 예

4장에서 제안한 네트워크 모델에 대한 계정을 실예에 의한 수치 계산을 통하여 확인 한다.

제안한 네트워크 모델은 WCDMA의 CS영역으로 주요 구성장비의 MTBF 및 MTTR, 고장률과 수리율은 다음과 같다.

표 4. 단말 장비의 MTBF/MTTR 과 고장률/수리율

구 분	UE	Static Host
MTBF (year/sec)	1/31,536,000	10/315,360,000
MTTR (min/sec)	30/1,800	30/1,800
고장률 (λ)	3.171098×10^{-8}	6.341958×10^{-9}
수리율 (μ)	5.555556×10^{-4}	5.555556×10^{-4}

표 5. 무선 접속망 장비의 MTBF/MTTR 과 고장률/수리율

구 분	Node B	RNC
MTBF (year/sec)	7/220,752,000	7/220,752,000
MTTR (min/sec)	(5/300)	(5/300)
고장률 (λ)	4.529970×10^{-9}	3.333333×10^{-3}
수리율 (μ)	4.529970×10^{-9}	3.333333×10^{-3}

표 6. 코어망 장비의 MTBF/MTTR 과 고장률/수리율

구 분	MSC	HLR
MTBF (year/sec)	7/220,752,000	1/31,536,000
MTTR (min/sec)	5/300	5/300
고장률 (λ)	4.529970×10^{-9}	3.333333×10^{-3}
수리율 (μ)	4.529970×10^{-9}	3.333333×10^{-3}

5.1 MS 구조 가용도 계정 예

MS 구조의 (a), (b) 두 가지 상태별 포함되는 구성품 및 수량은 표 1과 같으며, 그에 따른 고장률과 수리율 그리고 두 가지 상태 확률 값과 조건부

www.dbpia.co.kr

가용도는 4장에서 제안한 계정에 의해 다음과 같이 얻어진다.

표 7. MS 구조의 상태별 고장률 및 수리율의 합

구 분	고장률의 합 (λ_a, λ_b)	수리율의 합 (μ_a, μ_b)
a	5.164166×10^{-8}	1.111111×10^{-2}
b	6.070160×10^{-8}	1.777778×10^{-2}

표 8. MS 구조의 시간변화에 따른 상태 확률 값

$\pi_s(t)$	$\pi_a(t)$	$\pi_b(t)$
0	1.000000000000000	0.00000000000000000000
50	0.999997989266073	0.00000201073392737653
100	0.999997162631151	0.00000283736884895381
150	0.999996822792407	0.00000317720759353730
200	0.999996683080946	0.00000331691905418999
250	0.999996625644022	0.00000337435597846309
300	0.999996602031068	0.00000339796893229338
350	0.999996592323522	0.00000340767647836496
400	0.999996588332642	0.00000341166735775300
450	0.999996586691948	0.00000341330805233971
500	0.999996586017440	0.00000341398256000208
550	0.999996585740142	0.00000341425985755051
600	0.999996585626142	0.00000341437385763479

표 9. MS 구조의 상태별 가용도

구 분	$A_a(t)$	$A_b(t)$
$A_s(t)$	0.999995352272091	0.999996585546557

표 10. MS 구조의 공급자 가용도

구 분	$\pi_a(t)A_a(t)$	$\pi_b(t)A_b(t)$
0	0.999995352272091	0.00000000000000000000
50	0.999993341547509	0.00000201072706181915
100	0.999992514916429	0.00000283735916088997
150	0.999992175079264	0.00000317719674510989
200	0.999992035368453	0.00000331690772872430
250	0.999991977931796	0.00000337434445688170
300	0.999991954318951	0.00000339795733008666
350	0.999991944611450	0.00000340766484301228
400	0.999991940620590	0.00000341165570877365
450	0.999991938979903	0.00000341329639775828
500	0.999991938305398	0.00000341397090311758
550	0.999991938028102	0.00000341424819971918
600	0.999991937914102	0.00000341436219941422

구 분	$PA_{MS}(t)$
0	0.999995352272091
50	0.999995352274571
100	0.999995352275590
150	0.999995352276009
200	0.999995352276181
250	0.999995352276252
300	0.999995352276281
350	0.999995352276293
400	0.999995352276298
450	0.999995352276300
500	0.999995352276301
550	0.999995352276302
600	0.999995352276302

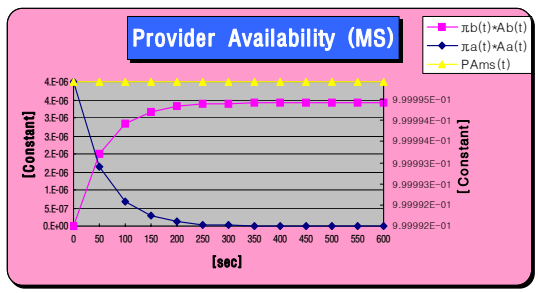


그림 12. MS 구조의 공급자 가용도 특성

5.2 SM 구조 가용도 계정 예

SM 구조에서 갖는 (c), (d), (e) 세 가지 상태에 따라 포함되는 구성품 및 수량은 표 2와 같으며, 그에 따른 고장률 과 수리율 그리고 두 가지 상태 확률 값과 조건부 가용도는 4장에서 제안한 계정에 의해 다음과 같이 얻어진다.

표 11. SM 구조의 상태별 고장률 및 수리율의 합

구 분	고장률의 합 $(\lambda_c,\lambda_d,\lambda_e)$	수리율의 합 (μ_c,μ_d,μ_e)
c	1.540190E-08	7.222222E-03
d	5.164166E-08	1.111111E-02
e	6.070160E-08	1.777778E-02

표 12. SM 구조의 상태 확률 값

구 분	$\pi_s(t)$
$\pi_c(t)$	0.000002132558796
$\pi_d(t)$	0.999994452995043
$\pi_e(t)$	0.000003414446161

www.dbpia.co.kr

표 13. SM 구조의 상태별 가용도

구 분	$A_s(t)$
$A_c(t)$	0.999997867433922
$A_d(t)$	0.999995352272091
$A_e(t)$	0.999996585546557

표 14. SM 구조의 공급자 가용도

구 분	$PA_{SM}(t)$
$\pi_c(t)\,A_c(t)$	0.000002132554249
$\pi_d(t)\,A_d(t)$	0.999989805292914
$\pi_e(t)\,A_e(t)$	0.000003414434503
$PA_{SM}(t)$	0.999995352281665

5.3 MM 구조 가용도 계정 예

MM 구조에서 갖는 (f), (g), (h), (i) 네 가지 상태에 따라 포함되는 구성품 및 수량은 표 3과 같으며, 그에 따른 고장률 과 수리율 그리고 각각의 상태 확률 값과 조건부 가용도는 4장에서 제안한 계정에 의해 다음과 같이 얻어진다.

표 15. MM 구조의 상태별 고장률 및 수리율의 합

구 분	고장률의 합 $(\lambda_f,\lambda_g,\lambda_h,\lambda_i)$	수리율의 합 $(\mu_f,\mu_g,\mu_h,\mu_i)$
f	0.000000086069435	0.017777777777778
g	0.000000095129376	0.024444444444444
h	0.000000095129376	0.024444444444444
i	0.000000104189317	0.031111111111111

표 16. MM 구조의 상태 확률 값

구 분	$\pi_s(t)$
$\pi_f(t)$	0.999992216732857
$\pi_g(t)$	0.000003891625999
$\pi_h(t)$	0.000003891625999
$\pi_i(t)$	0.000000000015145

표 17. MM 구조의 상태별 가용도

구 분	$A_s(t)$
$A_f(t)$	0.999995158617699
$A_g(t)$	0.999996108358856
$A_h(t)$	0.999996108358856
$A_i(t)$	0.999996651068899

표 18. MM 구조의 공급자 가용도

구 분	$PA_{MM}(t)$
$\pi_f(t)\,A_f(t)$	0.999987375388237
$\pi_g(t)\,A_g(t)$	0.000003891610854
$\pi_h(t)\,A_h(t)$	0.000003891610854
$\pi_i(t)\,A_i(t)$	0.000000000015145
$PA_{MM}(t)$	0.999995158625091

Ⅵ. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 통신 구조의 변화를 갖는 이동선 통신망에 대한 가용도를 공급자 측면에서 구하는 효과적인 계정을 제안하였다.

첫째, 단말의 통신 형태에 따라 통신 구조를 MS, SM, MM 구조로 나누고, 각각의 구조에서 상태의 변화는 고장률과 수리율을 적용하여 2 State, 3 State, 4 State로 구분하였고, 상태 천이 확률 값을 구하기 위해 Markov Process를 이용하였다.

둘째, 전 확률 법칙을 이용하여 상태 확률 조건에서의 가용도를 구하였다. 제안한 계정은 서비스를 제공하는 공급자 측면에서 시스템의 가용도를 평가해 볼 수 있고, 그에 따라 가용도 향상을 위한 수리 정책을 수립할 수 있는 이점이 있다.

앞으로 더 연구하여야할 과제로서는 공급자 측면에서 근사 가용도계정과 시스템을 사용하는 사용자 측면에서의 가용도 계정 그리고 통신 용량이 고려된 경우의 통신망 가용도 계정에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

〔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.

www.dbpia.co.kr

〔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〕 Marvin Rausand and Arnljot HΦyland, System Reliability Theory Models, Statistical Methods, and Applications, Second Edition A John Wiley & Sons, Inc., 2004.

〔7〕 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.

〔8〕 이준혁, 김경목, 오영환, “RBN과 MANET에서의 터미널간 신뢰도 평가”, 한국신뢰성학회지, 신뢰성응용연구 제6권2호, pp. 187-194, 2006

〔9〕 이준혁, 오영환, “클러스터 기반의 무선 분산 센서 네트워크에서의 터미널 간 신뢰도 평가”, 한국신뢰성학회지, 신뢰성응용연구, 제6권4호, pp.297-306, 2006

〔10〕 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.

〔11〕 Fabien Houe’to and Aamuel Pierre, “Reliability and Cost Evaluation of Thrid-Generation Wireless Access Network Topologies: A Case Study”, IEEE Trans. Rel, vol. 51, no.2, June 2002 EPCglobal, 23 Feb 2003.

〔12〕 이준혁, 오영환 “계층적 클러스터링을 기반으로 하는 무선 센서네트워크의 Throughput과 Availability평가”, 한국신뢰성학회지, 신뢰성응용연구, 제5권4호, pp.465-486, 2005.

〔13〕 X. Chen and M. R. Lyu, “Reliability Analysis for Various Communication Scheme in wireless CORBA” IEEE Trans. Rel., Vol. 54, no. 2 June 2005.

〔14〕 W. Kuo and M. J. Zuo, Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2003.

〔15〕 김종호, 김주환, 이기성 “확률론 입문”, 교우사 1999년

〔16〕 이상근, 조봉열, 여운영 “쉽게 설명한 3G/4G 이동통신시스템(HSDPA, HSUPA, WiMAX 중심)”, 홍릉과학출판사 2008년.

이 준 혁 (Jun-Hyuk Lee) 정회원
한국통신학회논문지 제33권 제8호 참조

오 영 환 (Young-Hwan Oh) 정회원
한국통신학회논문지 제33권 제8호 참조

www.dbpia.co.kr