

핸드오버가 고려된 GMPCS 시스템의 트래픽 성능

정회원 조재원*, 홍대형*

Traffic Performance Analysis of Handover in GMPCS

Jaeweon Cho*, Daehyoung Hong* *Regular Members*

요 약

범세계 개인휴대통신 시스템(GMPCS)에 적용 가능한 핸드오버 기법을 연구하고 그 기법이 시스템의 트래픽 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 핸드오버 기법은 통화서비스의 품질에 직접 영향을 미치므로, 성능 분석을 수행하여 그 결과를 바탕으로 핸드오버 기법을 적절하게 제어해야 한다. 인접 위성간 핸드오버 기법의 성능을 분석할 수 있는 수학적 해석 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 이용하여 위성 안테나 방사 패턴과 핸드오버 파라미터 설정에 따른 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연을 도출하였다. 또한 핸드오버 기법이 시스템 전체 트래픽 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 컴퓨터 모의실험을 구성하고 수행하였다. 균일하지 않은 통화량의 발생과 시스템의 구조적 특성, 그리고 전자과전과 환경을 고려하였다. 핸드오버 통화에 우선권을 주는 방식들도 모의실험에 적용하였다. 시스템의 성능 지표로서 호 차단율, 호 손실율, 그리고 호당 평균 핸드오버 횟수를 선정하여 분석하였다. 시스템이 수용할 수 있는 최대 가입자의 수를 시스템 용량으로 도출하였고, 적절한 핸드오버 기법을 적용함으로써 통화서비스 품질과 시스템 용량이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents analysis method and results of the handover process and its effect upon the traffic performance in GMPCS. With the non-geostationary satellite used for the system, the handover scheme needs to be applied to make calls completed without any interruption. An analytical model is developed for the analysis of the handover process. We derive mean number of handovers and handover delay with various satellite antenna patterns and handover parameter settings. A suitable traffic model of the whole system is also derived after due considerations of the handover process. The system performance measures include new call blocking probability, call dropping probability and mean number of handovers per call. A computer simulation is developed and used. We also analyze the system performance with a number of handover priority schemes applied. Based on the study results, handover parameters are selected to maximize the traffic performance. It is shown that we can improve overall traffic performance of GMPCS system by setting handover parameters properly and using the handover priority scheme.

1. 서 론

차세대 이동통신 시스템은 장소, 시간 그리고 서비스의 종류에 관계없이 하나의 소형 단말기로 사용자가 원하는 통신 서비스들을 제공하게 되리라 예

상된다. 그러나 서비스의 지역적 한계를 갖고 있는 지상이동통신 시스템만으로는 이러한 목표를 달성하기가 어려울 것이다. 따라서 전세계 모든 지역을 사용가능 지역으로 포함하는 범세계 개인휴대통신 시스템 즉 GMPCS (global mobile personal communications by satellite) 시스템의 필요성이 대두되었

* 서강대학교 전자공학과 통신시스템 연구실 (jcho@ecom1.sogang.ac.kr, dhong@ccs.sogang.ac.kr)

논문번호: 99411-1011, 접수일자: 1999년 10월 11일

* 본 연구는 한국전자통신연구원 지원으로 수행되었습니다.

다. 이미 이러한 시스템의 구축이 시작되었고 일부 시스템은 상용 서비스를 개시하였다.

다수의 GMPCS 시스템들은 비정지궤도 위성을 사용한다. 비정지궤도 위성은 기존의 정지궤도 위성 과 다르게 상당히 빠른 속도로 지구를 선회한다. 통화중인 이동국이 현재 서비스중인 위성빔 영역을 벗어나게 될 때에도 통화가 계속될 수 있게 하기 위해서는 핸드오버가 수행되어야 한다. 핸드오버의 수행이 필요하다는 점에서 지상 셀룰라 시스템과 비교된다. 그러나 지상에서의 핸드오버는 이동국의 이동성에 의해 발생되는 반면, GMPCS 시스템에서의 핸드오버는 주로 위성의 이동성에 의해 발생된다.

시스템에서 제공되는 통화 서비스의 품질은 적용되는 핸드오버 기법의 영향을 받는다. 서비스 영역 경계에서 불필요한 핸드오버가 발생하는 경우에는 시스템의 핸드오버 처리 부하가 상당히 증가된다. 또한 시간적으로 핸드오버가 너무 늦게 수행되는 경우에는 기존의 채널 상태가 나빠져 호 손실이 발생한다. 이와같은 통화품질 저하는 결과적으로 시스템 용량동의 전체적인 성능에 영향을 미친다. 따라서 가능한 한 많은 사용자들에게 고품질의 통화서비스를 제공하기 위해서는 핸드오버 기법이 적절한 방법으로 제어되어야 한다.

현재까지 수행된 GMPCS 시스템의 트래픽 성능에 관한 연구에서는 핸드오버 기법이 트래픽 성능에 미치는 영향을 충분히 고려하지 않았다^[1,2,3]. 위성의 이동성에 의해 발생하는 핸드오버 통화량을 분석하여, 사용자의 통화 요구량에 따른 시스템의 통화품질을 도출하였다. 그러나 위성 또는 빔의 서비스 경계지역에 위치한 이동국은 핸드오버를 한번만 수행한다고 가정하였기 때문에 핸드오버 기법의 성능이 시스템의 통화품질에 미치는 영향은 분석되지 못했다. 한편, 위성 링크의 전파환경을 고려하여 핸드오버 성능을 분석한 결과가 제시되었다^[4]. 그러나 이 연구에서도 통화량의 발생을 고려하지 않고 핸드오버의 성능만을 분석하였으므로, 핸드오버 기법이 트래픽 성능에 미치는 구체적인 결과물을 제시하지 못했다.

본 논문에서는 GMPCS 시스템의 핸드오버 기법과 트래픽 성능을 연동시켜 분석하여 핸드오버 기법이 통화서비스 품질과 시스템 수용용량에 미치는 영향을 도출하였다. 우선 2장에서 전자파전파 환경을 고려한 핸드오버 기법의 성능 분석 방법을 제시

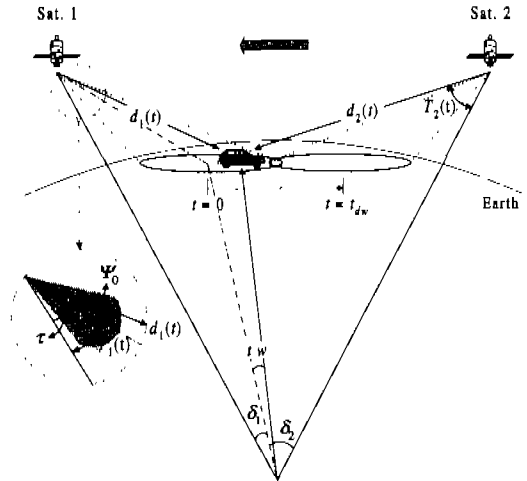


그림 1. 인접 위성간 핸드오버의 성능 해석 모델

하였다. 또한 GMPCS 시스템의 트래픽 성능을 분석할 수 있는 모의실험을 구성하였다. 앞서 분석된 핸드오버 기법을 모의실험에 적용시켰다. 분석된 결과를 3장에서 제시하였다. 마지막으로 4장에서 본 연구의 결론을 맺었다.

II. 핸드오버 기법의 성능

1. 수신신호 모델

핸드오버의 개시는 통화중인 위성파 인접 위성으로부터의 수신신호 세기, 그리고 이동국과 위성간의 거리등을 기준으로 결정할 수 있다. 위성의 서비스 영역 경계에서는 위성 상송각도가 낮기 때문에, 수신신호가 shadowing에 의해 크게 변할 수 있다. 즉 거리상으로 가까운 위성의 신호가 shadowing에 의해 멀리 떨어진 위성의 신호보다 열악할 수 있다. 따라서 위성간의 핸드오버 개시는 위성파와 이동국간의 거리만으로 결정할 수 없으며, 위성으로부터 수신되는 신호 세기를 이용하여 결정해야 한다.

본 논문에서는 인접 위성의 빔간 핸드오버가 적용된 경우를 고려하였다. 동일한 위성의 각 빔에서 수신되는 신호들은 동일한 shadowing을 겪게되므로, 동일위성내의 빔간 핸드오버는 한번만 수행되고 불필요한 핸드오버가 발생하지 않게 된다. 따라서 분석이 필요한 경우는 외곽 빔사이에서 발생하는 인접위성간 핸드오버이다. 이러한 핸드오버를 분석하기 위한 모델을 그림 1에 보였다. 이동국에서 각 위성으로부터 수신되는 신호 $r_1(t)$

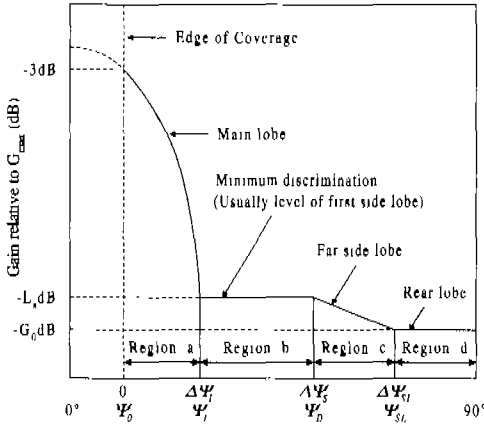


그림 2. 위성 안테나의 방사 패턴

(dBW)와 $r_2(t)$ (dBW)는 다음 식과 같이 표현된다.

$$r_1(t) = K - M \log d_1(t) + G_1(t) + \zeta_1(t) \quad (1)$$

$$r_2(t) = K - M \log d_2(t) + G_2(t) + \zeta_2(t) \quad (2)$$

위 식에서 K (dBW)는 위성에서 1km 떨어진 지점의 수신신호세기, M 은 신호의 감쇄상수(= 20), $d_1(t)$ 와 $d_2(t)$ (km)는 시간에 따른 위성과 이동국 간의 거리, $G_1(t)$ 와 $G_2(t)$ (dBi)는 이동국 방향으로의 위성 안테나 이득, $\zeta_1(t)$ 와 $\zeta_2(t)$ 는 수신신호의 shadowing 랜덤 변수를 나타낸다.

위성빔 내에서 위성용 기준으로 이동국의 상대적인 위치는 위성의 속도와 방향에 의해 변한다. 이동국 속도는 위성 속도에 비해 상대적으로 느리고 위성은 일정한 방향으로 이동하므로, 이동국과 위성의 거리를 시간의 함수로 표현할 수 있다. 이동국이 위성 1의 빔 중앙에 위치할 때를 0초로 가정하면, $d_1(t)$ 와 $d_2(t)$ 는 기하학적 계산에 의해 결정된다^[5].

$$d_1(t) = \sqrt{R_e^2 + R_s^2 - 2R_e R_s \cos(\delta_1 + t \cdot w)} \quad (3)$$

$$d_2(t) = \sqrt{R_e^2 + R_s^2 - 2R_e R_s \cos(\delta_2 - t \cdot w)} \quad (4)$$

위 식에서 R_e 는 지구반경 (= 6378 km), R_s 는 위성의 고도와 지구반경의 합, w 는 위성의 각 속도 (deg/sec)를 나타낸다.

위성 안테나의 방사 패턴으로 그림 2의 모델을 사용하였다. 서비스 영역 밖의 main lobe 지역에 해당되는 'Region a'에서 안테나 이득은 다음 식으로 표현된다^[6].

$$G(\Psi) = G_{\max} - 3(\Psi/\Psi_0)^s \quad (5)$$

위 식에서 G_{\max} (dBi)는 안테나 최대 이득, Ψ (deg)는 빔 중앙으로부터 이동국의 위치까지의 각도, Ψ_0 는 빔 경계지역까지의 각도 (= 3dB beamwidth/2 deg), s 는 main lobe의 sharpness를 나타내는 파라미터이다. 식 (5)를 이용하여 다중빔중에서 외곽 빔의 안테나 이득을 아래식으로 표현할 수 있다.

$$G_1(t) = G_{\max} - 3[(T_1(t) - \tau)/\Psi_0]^s \quad (6)$$

$$G_2(t) = G_{\max} - 3[(T_2(t) - \tau)/\Psi_0]^s \quad (7)$$

위 식에서 $T_1(t)$, $T_2(t)$, τ 는 다음과 같다.

$$T_1(t) = \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{d_1(t)} \sin(\delta_1 + t \cdot w) \right] \quad (8)$$

$$T_2(t) = \sin^{-1} \left[\frac{R_e}{d_2(t)} \sin(\delta_2 - t \cdot w) \right] \quad (9)$$

$$\tau = \tan^{-1} \left[\frac{\sin \delta_1}{R_e/R_s - \cos \delta_1} \right] \quad (10)$$

이동국에 수신되는 신호의 shadowing 랜덤변수는 log-normal 분포를 갖는다고 가정하였다. 또한 shadowing 랜덤변수의 평균값 $\mu_{\zeta_i}(t)$ 와 표준 편차 $\sigma_{\zeta_i}(t)$ 는 위성의 상승각도 $\theta_i(t)$ 에 따라 결정되는 것으로 가정하였다.

Shadowing은 이동국과 위성간의 주위 지형 변화에 의해 발생되는데 그 지형은 위성과 상당히 거리가 떨어져 있다. 따라서 shadowing의 변화 특성은 이동국의 속도에 의해 좌우된다고 가정할 수 있다. 본 논문에서는 shadowing 변수의 자기상관관계 함수 (autocorrelation function)가 지상 셀룰라 시스템과 유사하게 지수함수를 따른다고 가정하였다^[7]. 자기상관관계 함수를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$E[\zeta_i(t)\zeta_i(t+\rho)] \approx \sigma_{\zeta_i}^2(t) \exp \left[-\frac{|\rho|}{t_0} \right] + \mu_{\zeta_i}^2(t) \quad (11)$$

위 식에서 t_0 는 decorrelation distance (d_0)와 이동국의 속도 (V_{MS})로 결정된다 ($t_0 = d_0/V_{MS}$).

2. 수학적 성능 해석

지상 셀룰라 시스템에서 핸드오버 기법의 성능은

보통 평균 핸드오버 횟수 (Mean number of hand-over)와 핸드오버의 지연 (Delay of handover)으로서 평가된다^[8]. GMPCS 시스템의 적용되는 핸드오버의 성능도 두 성능변수에 의해 평가될 수 있다. 통화중인 사용자가 서비스중인 위성의 영역을 벗어나 인접 위성의 서비스 영역에 진입하게 될 때 핸드오버는 서비스 경제에서 정확히 한번만 수행되는 것이 바람직하다.

불필요한 핸드오버 발생을 방지하는 한가지 방법은 수신신호를 일정기간 (T_w) 동안 수집하여 그 평균값을 기준으로 핸드오버 개시를 결정하는 것이다. 또 다른 방법으로 hysteresis margin (h)을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 인접위성으로부터의 평균 수신신호세기가 통화중인 위성의 평균 수신신호세기보다 hysteresis margin만큼 커질 때 핸드오버 개시를 결정한다. 각 위성으로부터 수신된 신호의 평균값 차이는 아래식과 같이 표현 할 수 있다.

$$x(t) = \frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} r_1(t-a) - r_2(t-a) da \quad (12)$$

이동국이 위성 1의 빔 중앙에서 위성 2의 빔 중앙에 위치할 때까지 소모되는 시간 t_{dw} 를 일정 간격 t_s 로 나눈다. 전체 표본의 수를 N 이라고 하면 t_s 는 t_{dw}/N 이 된다. 또한 k 번째 표본 t_k 는 $k \cdot t_s$ 가 된다. k 번째 구간에서 핸드오버가 발생할 확률 $P_{ho}(k)$, 위성 1에서 위성 2로 핸드오버할 확률 $P_{2|1}(k)$, 위성 2에서 위성 1로 핸드오버할 확률 $P_{1|2}(k)$, 또 각 위성에 접속중인 확률 $P_{s1}(k)$ 와 $P_{s2}(k)$ 는 아래 식과 같은 관계를 가지며 각 값들은 순환(recursive)방법으로 계산된다^[9].

$$P_{ho}(k) = P_{s1}(k-1)P_{2|1}(k) + P_{s2}(k-1)P_{1|2}(k) \quad (13)$$

$$P_{s1}(k) = P_{s1}(k-1)[1 - P_{2|1}(k)] + P_{s2}(k-1)P_{1|2}(k) \quad (14)$$

$$P_{s2}(k) = P_{s2}(k-1)[1 - P_{1|2}(k)] + P_{s1}(k-1)P_{2|1}(k) \quad (15)$$

k 는 1부터 N 까지의 값을 가지며, 초기값은 $P_{s1}(0)=1$ 과 $P_{s2}(0)=0$ 이다. 위 식들에서 $P_{s1|2}(k)$ 와 $P_{2|1}(k)$ 값이 정해지면 다른 확률값들도 정해진다. 수학적 해석을 위해 $P_{s1|2}(k)$ 와 $P_{2|1}(k)$ 를 다음과 같이 근사적으로 계산한다^[9].

$$P_{2|1}(k) \approx \Pr[x(t_k) < -h | x(t_{k-1}) \geq -h] \quad (16)$$

$$\approx \frac{\int_{-\infty}^{-h} Q[A(t_k)] p_{x(t_k)}(a) da}{Q\left(\frac{-h - \mu_x(t_{k-1})}{\sigma_x(t_k)}\right)}$$

$$A(t_k) = \frac{-h - \mu_x(t_{k-1}) - \gamma(t_k)(\alpha - \mu_x(t_k))}{\sigma_x(t_k)\sqrt{1 - \gamma^2(t_k)}} \quad (17)$$

$$P_{1|2}(k) \approx \Pr[x(t_k) > h | x(t_{k-1}) \leq h] \quad (18)$$

$$\approx \frac{\int_h^{\infty} \{1 - Q[B(t_k)]\} p_{x(t_k)}(a) da}{1 - Q\left(\frac{h - \mu_x(t_{k-1})}{\sigma_x(t_k)}\right)}$$

$$B(t_k) = \frac{h - \mu_x(t_{k-1}) - \gamma(t_k)(\alpha - \mu_x(t_k))}{\sigma_x(t_k)\sqrt{1 - \gamma^2(t_k)}} \quad (19)$$

위 식의 $\mu_x(t_k)$ 와 $\sigma_x(t_k)$ 는 $x(t_k)$ 의 평균과 표준편차를 나타낸다. 본 해석에서 핸드오버 성능분석 대상은 위성의 외곽 빔에 위치한 이동국이다. 그러므로 시간에 따른 위성 상승각도의 변화량은 크지 않다. 또한 시간간격 t_s 가 작은 경우를 고려하여, $\sigma_x(t_k)$ 와 $\sigma_x(t_{k-1})$ 를 동일하다고 근사시켰다. 표준편차 $\sigma_x(t_k)$, 그리고 $x(t_{k-1})$ 와 $x(t_k)$ 의 covariance $C(t_k)$ 는 식 (1)과 (2), (11) 그리고 (12)를 이용하여 다음식으로 유도된다.

$$\sigma_x^2(t_k) \approx \frac{4 \sigma_{v_i}^2(t_k)}{T_w^2} [t_0^2 (e^{-\frac{T_w}{t_0}} - 1) + t_0 T_w] \quad (20)$$

$$C(t_k) \approx \frac{2 \sigma_{v_i}^2(t_k)}{T_w^2} [t_0^2 (e^{-\frac{t-T_w}{t_0}} + e^{-\frac{-t+T_w}{t_0}} - 2e^{-\frac{t}{t_0}}) + 2t_0(T_w - t_s)] \quad (21)$$

$\gamma(t_k)$ 는 $x(t_{k-1})$ 와 $x(t_k)$ 의 correlation coefficient를 의미한다. 식 (20)과 (21)를 이용하면 $\gamma(t_k)$ 는 다음식으로 유도된다.

$$\begin{aligned} \gamma(t_k) &= \frac{C(t_k)}{\sigma_x(t_k)\sigma_x(t_{k-1})} \approx \frac{C(t_k)}{\sigma_x^2(t_k)} \\ &= [t_0(e^{-\frac{t-T_w}{t_0}} + e^{-\frac{-t+T_w}{t_0}} - 2e^{-\frac{t}{t_0}}) + 2(T_w - t_s)] \\ &\quad / [2t_0(e^{-\frac{T_w}{t_0}} - 1) + 2T_w] \end{aligned} \quad (22)$$

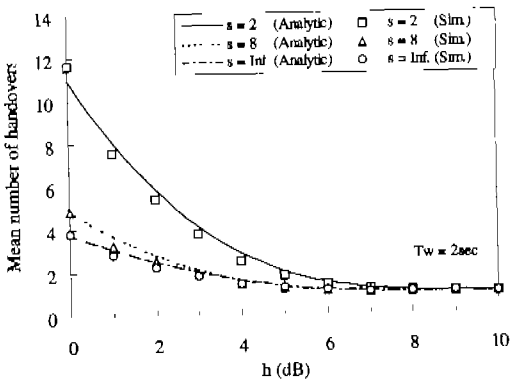


그림 3. 안테나 패턴에 따른 평균 핸드오버 횟수

$p_{x(t_s)}(a)$ 는 Gaussian 확률 밀도 함수이다. 그리고 Q function은 다음식과 같이 정의되는 함수이다.

$$Q(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta}^{\infty} \exp(-y^2/2) dy \quad (23)$$

이동국의 위치가 위성 1의 빔 중앙부터 위성 2의 빔 중앙으로 바뀔 때까지 발생하는 평균 핸드오버의 횟수는 핸드오버가 발생하는 구간의 수이므로 아래 식으로 표현된다.

$$\text{Mean number of handover} = \sum_{k=1}^N P_{ho}(k) \quad (24)$$

핸드오버 지연은 두빔의 서비스 경계지역으로부터 핸드오버 개시 시점까지의 시간 지연이고 아래 식으로 표현된다.

$$\text{Delay of handover} = k_{cp} t_s - t_{dw}/2 \quad (25)$$

위 식에서 k_{cp} 는 위성 1과 접속중일 확률이 0.5 인 시점을 나타내며, $P_d(k_{cp}) = 0.5$ 를 만족한다.

3. 성능 해석 결과

본 절에서는 제시된 모델을 바탕으로 핸드오버 파라미터의 설정에 따라 정해지는 핸드오버의 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위한 시스템 모델로 Iridium 시스템을 정하고 그에 따라 설정이 필요한 각 파라미터 값들을 정하였다. Iridium 시스템의 위성 고도는 780 km이므로 위성의 각속도는 약 0.06 deg/sec 이다^[10]. 그리고 각 위성당 48개의 빔을 가지며, 이 중 외곽 빔의 직경은 약 643.6 km (400 mi)이다. 이와 같은 시스템 구조를 적용하여 그림 1

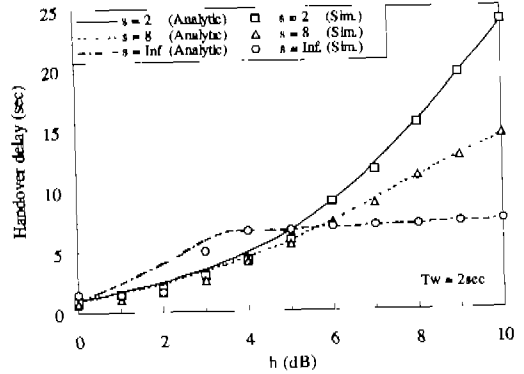


그림 4. 안테나 패턴에 따른 핸드오버 지연

에 나타난 파라미터 $\psi_0, \delta_1, \delta_2, \tau$ 를 각각 2.55 deg, 13.8 deg, 18.9 deg, 57.7 deg 로 설정하였다. 이동국이 위성 1의 빔 중앙에 위치하고 있을 때 0 sec라고 설정하면, 위성 2의 빔 중앙에 위치할 때까지의 시간은 83.8 sec가 된다.

현재까지의 GMPCS 시스템은 지상의 셀룰라 이동 통신시스템과 경쟁을 목적으로 하지 않는다. GMPCS 시스템은 지상의 이동통신 시스템으로 서비스를 제공하기 어려운 지역을 서비스 대상으로 한다. 따라서 교외지역(rural area)은 GMPCS 시스템의 중요한 서비스 대상지역중 하나이다. 본 논문에서는 교외지역의 tree-shadowed 환경에서 측정된 [11]의 shadowing 모델을 사용하였다. shadowing 랜덤 변수의 평균값과 표준편차는 아래 식과 같이 위성의 상승각도에 따라 결정하였다.

$$\mu_R(\theta) = \frac{20}{\ln 10} [-2.331 + 0.1142 \theta(\theta) - 1.939 \times 10^{-3} \theta_1^2(\theta) + 1.094 \times 10^{-5} \theta_2^2(\theta)] \quad (26)$$

$$\sigma_R(\theta) = 4.5 - 0.05 \theta(\theta) \quad (27)$$

($20^\circ \leq \theta_1(\theta) \leq 80^\circ$)

적용한 시스템 모델의 경우에 핸드오버 발생 가능성이 높은 빔 경계 지역에서 위성의 상승각도는 약 14.2 ~ 13.1 deg 이다. Tree-shadowed 환경에서 위성의 상승각도가 20 deg인 경우와 15 deg인 경우의 수신신호의 분포는 큰 차이가 없는 것으로 측정되었다^[12]. 따라서 위성의 상승각도를 20 deg로 가정하고 식 (27)를 적용하여 shadowing의 표준편차를 3.5dB로 설정하였다. 이와같은 가정은 분석의 용이성을 위한 것이며, 20 seg미만의 위성상승각도

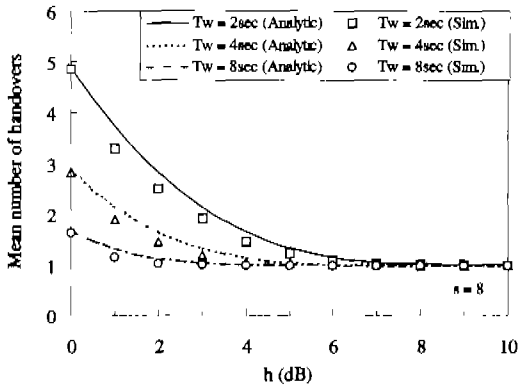


그림 5. 핸드오버 파라미터 설정에 따른 평균 핸드오버 횟수

에 적합한 shadowing 모델이 제시되면 본 해석에 바로 적용할 수 있다. 한편 Decorrelation distance d_0 는 20 m로 가정하였으며, 이동국의 속도는 60 km/h인 경우를 적용하여 해석하였다.

핸드오버의 성능은 안테나의 방사 패턴에 따라 영향을 받는다. 안테나 파라미터 s 가 감소하면 핸드오버 영역이 확장되어 불필요한 핸드오버수가 증가하고 핸드오버 지연이 길어진다. 핸드오버 성능에 대한 안테나 패턴의 영향을 분석하기 위해 s 를 2와 8로 설정하여 그 성능을 비교하였다. s 가 무한대인 이상적인 안테나 패턴이 적용된 경우도 함께 분석하였다.

그림 3과 그림 4에서는 각 안테나 패턴에 따른 핸드오버의 성능을 도출하여 나타내었다. 그림의 결과를 통해 s 가 증가할수록 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연이 모두 감소하여 핸드오버 성능이 우수해짐을 알 수 있다. 위의 결과를 통하여 3dB 빔 폭 밖에서 안테나 이득이 급격하게 감소할수록 핸드오버의 성능이 우수해짐을 알 수 있다.

각 핸드오버 파라미터에 따른 핸드오버의 성능 변화를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 핸드오버 파라미터 h 와 T_w 를 크게 할수록 평균 핸드오버 횟수는 감소하나 핸드오버 지연은 증가한다. 핸드오버 지연과 평균 핸드오버 횟수를 동시에 최소화 할 수는 없다는 것을 알 수 있다.

핸드오버 파라미터 설정에 따른 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연의 trade-off 관계를 그림 7에 나타내었다. 이상적인 핸드오버의 경우에는 평균 핸드오버 횟수가 1이며 핸드오버 지연은 0 sec 이다. 이상적인 핸드오버의 성능을 나타내는 지점과 가장 가까운 영역을 원으로 표시하였다. 따라서 이 영역

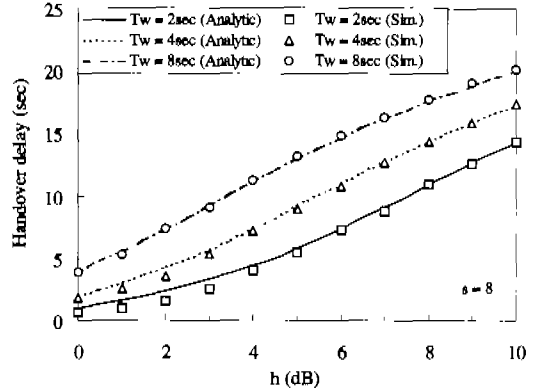


그림 6. 핸드오버 파라미터 설정에 따른 핸드오버 지연

이 바람직한 핸드오버의 동작점(operating point)이 되며, 핸드오버가 이 영역에서 동작하도록 관련 파라미터들을 조절해야 한다.

제시한 수학적 해석 방법의 타당성을 확인하기 위해 모의실험 결과를 도출하여 수학적 해석 결과와 함께 도시하였다. 수학적 해석을 통해 도출된 핸드오버의 발생 횟수가 모의실험 결과보다 약간 크게 도출되었다. 이 이유는 수학적 해석의 용이성을 위해 $P_{sil}(k)$ 와 $P_{col}(k)$ 를 각각 식 (16)과 식 (18)로 근사시켰기 때문이다. 그러나 두 분석방법의 결과값 차이가 매우 작다는 것을 그림의 결과를 통해 확인할 수 있다.

III. 핸드오버 기법이 연동된 트래픽 성능

1. 서비스 영역 모델

GMPCS 시스템에서 비정지위성은 이동국 단말기용 소형으로 만들고 전송용량을 증대시키며 주파수

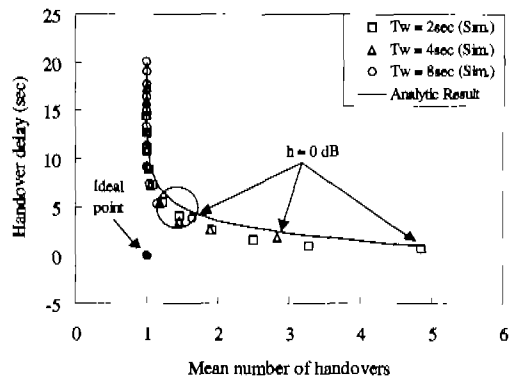


그림 7. 핸드오버 성능의 tradeoff 관계

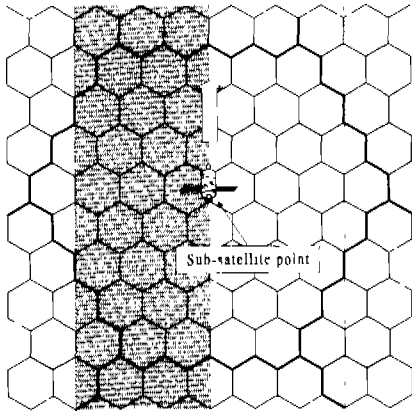


그림 8. 다중빔의 서비스 영역 모델

를 효율적으로 사용하기 위해 다중빔 안테나를 사용한다. 지표면이 구면이기 때문에 각 다중빔이 동일한 빔폭을 갖는다고 가정해도 실제 다중빔은 위성으로부터 거리가 멀수록 그 크기가 커진다. 성능 분석을 용이하게 하기 위해 지상에 형성되는 빔의 크기가 모두 동일하다고 가정하면, 각 위성빔의 서비스 영역은 지상시스템과 유사하게 육각형 셀의 형태를 갖는다고 모델링할 수 있다. 따라서 극궤도 GMPCS 시스템의 다중빔 패턴이 원형을 갖는 경우에는 지상의 서비스 영역을 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. Iridium 시스템에서 이동국과 위성과의 링크 (Mobile link) 안테나는 48개의 다중빔 패턴을 갖는다¹⁰⁾. 그림에서 굵게 표시한 실선은 Iridium 시스템의 경우에 인접 위성 간의 경계선의 의미한다.

그림 8과 같이 형성되는 서비스 영역은 위성의 이동에 따라 한 방향으로 이동한다. 따라서 극궤도 GMPCS 시스템 트래픽 성능은 각 궤도별로 서비스 영역을 나누어 분석할 수 있다. 한편 한 위성의 서비스 영역내에 수신 신호세기 분포는 위성의 진행 방향을 기준으로 좌우 대칭의 특성을 갖는다. 따라서 궤도의 서비스영역을 좌우로 나누어 분석할 수 있다. 그림 8에서는 하나의 예로서 트래픽 분석을 위한 서비스 영역을 위성의 진행방향을 기준으로 하여 왼쪽영역으로 정하고 회색으로 표시하였다.

그림 9에서는 본 논문에서 모델링한 다중빔 안테나의 구성 및 방사 패턴을 도시하였다. 실제 위성의 다중빔 방사 패턴은 그림 9 (a)와 같다. 그런데 지표면에 형성하는 모든 빔의 크기를 동일하게 하기 위해서는 각 다중빔의 빔폭을 다르게 설정해 주어야 한다. 즉 위성으로부터의 거리가 먼 빔일수록 다중빔의 빔폭을 작게해 주어야 지표상에 동일한 크

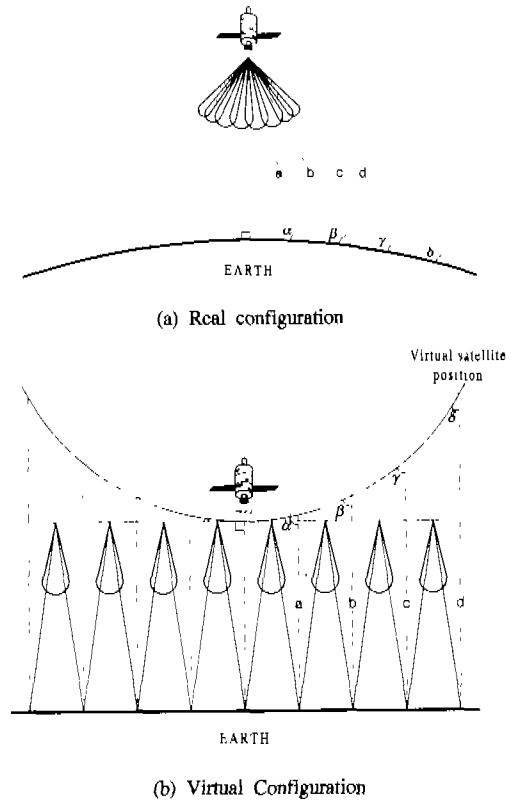


그림 9. 다중빔 안테나의 구성 및 방사 패턴

기의 빔 커버리지가 형성된다. 이러한 수고급 덜기 위해 다중빔의 방사 패턴을 그림 9 (b)로 모델링하였다. 즉 지표면을 2차원으로 가정하였다. 그리고 각 빔의 중심점은 빔이 지표면에 형성하는 셀의 중앙에 위치한다고 가정하였다. 제시된 모델에서는 각 다중빔의 빔폭을 동일하게 설정할 수 있다. 또한 지표면의 특정위치에서 위성까지의 거리, 그리고 위성의 상승 각도를 그림 9 (a)와 같은 실제 경우와 동일하게 적용할 수 있다.

2. 시스템 성능 향상 기법 및 성능 변수

GMPCS 시스템에서는 위성의 이동속도가 상당히 빠르기 때문에 통화중에 핸드오버가 발생할 확률이 매우 높다. 핸드오버가 제대로 수행되지 못하여 일어나는 호 손실을 줄이기 위하여 새로 발생되는 호보다 핸드오버 호를 우선적으로 처리해주는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 지상이동통신 시스템에서 고려된 핸드오버 호의 우선순위 기법을 적용하고 GMPCS 시스템의 트래픽 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 적용된 핸드오버 호의 우선순위 방법은 핸드오버 예약채널 기법과 핸드오버 Queuing 기법

이다^[13]. 핸드오버 예약채널 기법은 핸드오버 호만을 위해 일정 수의 채널을 미리 예약해 놓는 방법이다. 핸드오버 Queuing 기법은 핸드오버가 요청되었으나 사용가능한 채널이 존재하지 않을 때 핸드오버의 요청을 Queue에 대기시키는 방법이다.

위성으로부터의 수신신호는 shadowing의 영향으로 일시적으로 세기가 작아졌다가 다시 회복하는 경우가 발생한다. 이런 경우에 호 손실이 발생하는 것을 방지하기 위해서 호 손실 타이머 (Call drop timer)를 사용한다. 수신신호가 요구되는 임계치보다 작아지면 호 손실 타이머를 동작시키고 타이머가 종료되기전에 수신신호의 세기가 임계치 이상으로 커지면 타이머는 다시 초기화된다. 타이머가 종료될 때까지 수신신호 세기가 임계치를 회복하지 못하면 그 호는 강제로 끊기게 된다.

본 논문에서는 시스템의 트래픽 성능을 나타내는 지표로서 다음의 성능 변수들을 사용한다.

- 1) 호 차단율 (New call blocking probability) : 새로운 호를 서비스할 수 있는 여유채널이 없거나, 수신신호의 세기가 요구되는 임계치보다 작아서 새로운 호의 접속이 실패하는 확률
- 2) 호 손실율 (Call dropping probability) : 초기 접속에 성공한 호가 통화중에 요구되는 핸드오버에 실패하거나, 수신신호의 세기가 호 종료 타이머 동작기간 동안 요구되는 임계치보다 작아서 통화중에 강제로 끊어지는 확률
- 3) 호 당 평균 핸드오버 횟수 (Mean number of handovers per call) : 시스템에 접속된 호가 통화시간의 완료 또는 호의 손실로 인하여 통화가 중단될 때까지 겪는 핸드오버의 평균 횟수

3. 모의실험 결과

제시된 모델을 바탕으로 모의실험을 구현하여 극궤도 GMPCS 시스템의 트래픽 성능을 분석하였다. 시스템 모델로 Iridium 시스템을 선정하고 관련 시스템 변수들의 값들을 설정하였다. 본 논문에서 분석한 Iridium 시스템의 위성궤도를 그림 10에 보였다. 위성의 진행방향을 기준으로 왼쪽에 해당되는 지역 즉 110°E~125°E 와 40°W~55°W 지역을 성능 분석 대상 지역으로 선정하였다.

서비스 영역내에서 통화는 주로 대륙에서 발생하고 해상에서 발생하는 통화량은 무시할 수 있는 정도라고 가정하였다. 또한 대륙에서 발생하는 통화는 지역적으로 균일하게 분포하는 것으로 가정하였다.

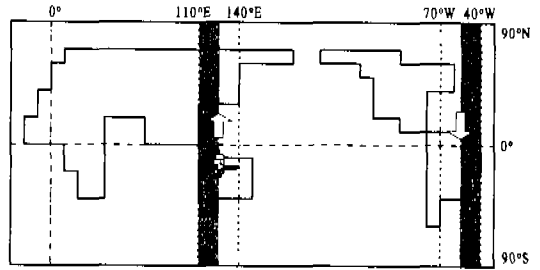


그림 10. Iridium 위성 궤도의 서비스 영역

그러나 이러한 가정은 분석을 위한 것이며 실제 트래픽 분포를 알 수 있는 경우는 실제분포를 바로 적용할 수 있도록 하였다. 각 이동국에서 통화의 요구량은 0.02 erlang으로 가정하였고, 평균통화시간은 120초로 가정하였다. 그리고 각 빔에 할당되어 있는 채널 수가 10인 경우를 분석하였다. 앞서 제시한 다중빔 안테나의 방사 패턴 모델을 적용하여, 위성까지의 거리 및 위성 상송각도를 기반으로 평균 수신신호를 결정하고 shadowing 랜덤 변수를 발생시켰다. 모의실험 프로그램은 1 sec의 간격으로 시스템 시각을 진행시켜 각 시각에서 발생하는 사건들을 처리하면서 진행된다.

한편 모의실험에서 호 손실의 발생 여부를 판단하기 위해서는 요구되는 수신신호의 임계치를 결정해야 한다. 이 임계치는 서비스 영역의 경계지역에 위치한 이동국의 수신세기와 링크의 여유분(link margin)으로 결정된다. 수신 신호의 세기가 이 임계치보다 작아지면 호 손실 타이머가 개시된다. Iridium 시스템에서 서비스 영역에 위치한 이동국의 최소 요구 위성상송 각도는 8.2 deg이다^[10]. 따라서 이 지역에 위치한 이동국의 수신세기는 $K - 47.8$ dBW 이다. 그리고 Iridium 시스템의 link margin은 16 dB 이므로^[10], 아래와 같이 호손실 타이머의 임계치 Th_Drop (dBW)을 설정할 수 있다.

$$Th_Drop = r_{min} - link\ margin = K - 63.8 \quad (27)$$

각 지역별로 도출한 트래픽 성능 결과를 그림 11과 그림 12에 나타내었다. 모의실험에서는 분석지역을 위도, 경도 5°의 크기를 갖는 정사각형 지역으로 나누어 각 지역별 트래픽 성능 결과를 도출하였다. 도출된 결과는 분석지역 (110°E~125°E, 40°W~55°W)의 전체 사용자수가 20,000명인 경우이다. 핸드오버 파라미터인 k 를 4dB, T_o 의 크기를 2초 그리고 호 손실 타이머의 종료시간을 2초로 선정하

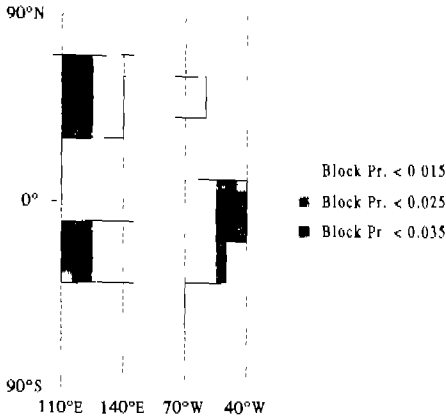


그림 11. 각 지역별 호 차단율

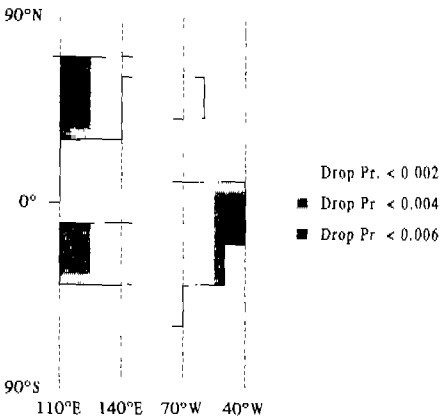


그림 12. 각 지역별 호 손실율

였다. 핸드오버 우선순위 방식으로 핸드오버 Queueing 기법을 적용하였다.

해양과 인접한 지역에서 호 차단율이 대륙 중앙보다 작게 도출된다는 것을 확인할 수 있다. 해양에는 트래픽이 존재하지 않으므로, 위성이 해안 지역을 지나질 때 위성으로 발생하는 트래픽의 양은 대륙 중앙보다 작다. 따라서 해안지역에서 호 차단율이 작게 발생하는 것이다. 한편, 위성의 sub-satellite에서 거리가 먼 대륙중앙에서 호 손실이 가장 많다. 본 논문에서는 모든 다중빔 안테나의 최대 이득을 동일하게 23 dBi로 가정하였다^[10]. 따라서 위성의 sub-satellite에서 먼 지역일수록 수신신호의 세기가 작기 때문에, 호 손실율이 높게 발생하는 것이다.

그림 13에서는 핸드오버 파라미터에 따른 호 손실율과 호당 평균 핸드오버 횟수의 trade-off 관계를 나타내었다. 도출된 결과는 전체 사용자수 18,000

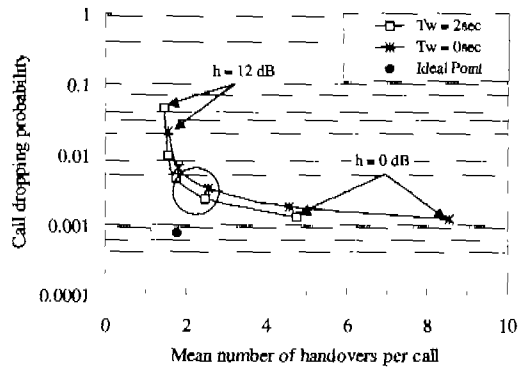


그림 13. 시스템 성능의 tradeoff 관계

명으로, 호 손실 타이머의 종료시간을 2초로 설정한 경우이다. 그리고 핸드오버 우선순위 방식으로 핸드오버 Queueing 기법을 적용하였다. 제시된 호 손실율과 호당 평균 핸드오버 횟수는 전체 지역중에서 가장 상태가 나쁜 지역의 값, 즉 최대값을 나타낸 것이다. 그림에서 h 와 T_w 를 증가시킬수록 평균 핸드오버 횟수는 감소하고 호 손실은 증가하였다. 이 곡선은 그림 7에 보인 핸드오버 성능의 tradeoff curve의 결과와 매우 유사하다. 호 손실이 발생하는 주된 요인의 하나가 핸드오버의 지연이기 때문에, 호 손실과 평균 핸드오버 횟수의 tradeoff 관계는 핸드오버 지연과 평균 핸드오버 횟수의 tradeoff 관계와 유사한 의미를 갖는다. 그러므로 2장에서 핸드오버 성능분석 방법은 시스템 성능에 미치는 핸드오버 기법의 영향을 분석하는데 적절한 방법으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

그림 13에 보인 ideal point는 위성과 이동국 사이에 shadowing이 존재하지 않은 경우의 시스템 성능을 나타낸다. 이 경우에 핸드오버는 셀 경계지역에서 1번만 발생하므로 평균 핸드오버 횟수와 호 손실율이 최소가 된다. 그러나 실제적인 전자파전파 환경에서 핸드오버의 발생을 고려한 경우에는 각 파라미터 값에 따라 시스템 성능이 달라진 것을 그림에서 볼 수 있다. 결과곡선 중에서 ideal point와 거리가 가장 가까운 모서리 지역이 바람직한 핸드오버 개시의 동작점(operating point)이 된다. 이와같은 분석결과를 바탕으로 h 를 4dB 또한 T_w 를 2초로 설정하고 이후의 분석을 계속하였다.

핸드오버 우선순위 기법을 적용하였을때 도출된 시스템의 성능 결과물 그림 14에 보였다. 핸드오버 Queue는 모든 경우에 사용하였고, 핸드오버 예약

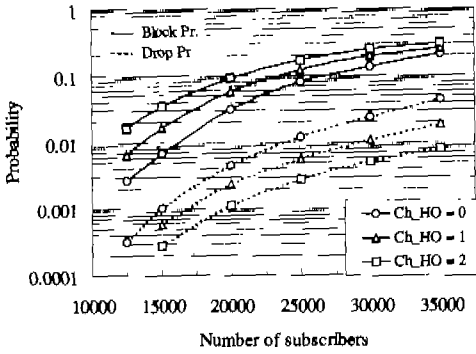


그림 14. 핸드오버 우선순위 기법의 성능

채널수를 변경시키며 결과값을 도출하였다. 제시된 호 차단율과 호 손실율은 전체 지역에서 각 구역별로 도출된 값중에서 최대값이다. 그림의 결과에서 예약채널 수가 증가하면 호 손실율이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 동시에 새로 발생한 호가 사용할 수 있는 채널 수가 감소함으로써 호 차단율은 증가한다.

시스템에서 요구되는 호 차단율 2% 이하 호 손실율 0.1%이하를 기준으로 분석하였다. 예약채널을 사용하지 않은 경우에는 최대 가입자 수가 약 15,000명이 된다. 1개의 예약채널을 사용한 경우에는 가입자의 용량이 약 16,000명으로 증가한다. 예약채널 2개를 사용하는 경우에는 반대로 용량이 약 13,000명으로 감소한다. 따라서 위와같은 시스템에서는 1개의 예약채널을 사용하여 가입자의 용량을 최대로 할 수 있다.

본 논문에서는 모의실험의 수행시간을 고려하여 위성의 각 빔에 10개의 채널이 할당되는 경우의 트래픽 성능을 분석하였다. 실제 시스템의 경우 할당되는 주파수 대역의 크기동에 따라 실제로 할당되는 채널 수는 달라질 수 있다. 그러나 적용되는 방법 및 결과는 채널 수에 관계없이 동일한 형태를 가질 것이다. 핸드오버 우선순위 기법의 성능 증대 효과도 유사할 것이다. 따라서 본 논문의 분석결과는 일반적인 경우에 충분히 활용될 수 있을 것이다.

IV. 결 론

GMPCS 시스템에서 적용가능한 핸드오버 기법의 성능을 분석하고 시스템의 트래픽 성능에 미치는 영향을 제시하였다. 핸드오버 성능 분석을 위한 모델과 수학적 해석 방법을 제시하였으며, 이를 이용

하여 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연을 도출하였다. 위성 안테나의 방사 패턴이 3dB 빔 폭 밖에서 급격히 감소할수록 위 두 성능 변수값은 감소하였다. 반면 핸드오버 파라미터를 조절하는 경우에는 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연을 동시에 최소로 만들 수는 없었다. 그러나 평균 핸드오버 횟수와 핸드오버 지연의 tradeoff 관계를 이용하여 핸드오버 성능을 극대화시킬 수 있는 각 파라미터의 적절한 값을 도출하였다.

극대도 GMPCS 시스템의 트래픽 성능을 분석하기 위하여 모의실험을 구성하였다. 실제적인 전자파 전파 환경에서 핸드오버 제어 방법에 따라 시스템의 성능이 달라지는 것을 확인하였다. 특히 호 손실율과 호당 평균 핸드오버 횟수는 핸드오버 파라미터 설정값에 따라 서로 tradeoff 관계를 가졌다. 이 결과를 이용하여 시스템 성능을 이상적인 성능에 가장 가깝게 만들 수 있는 각 파라미터의 값을 도출할 수 있었다. 또한 핸드오버 우선순위 방식을 적용하여 시스템의 가입자수를 증가시킬 수 있었다. 적절한 핸드오버 파라미터를 적용하고 핸드오버 우선순위방식을 사용함으로써 통화서비스 품질과 시스템 용량을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 제시된 분석 모델과 해석 방법은 핸드오버 기법 설계와 트래픽 성능 분석뿐만 아니라, 위성군 설계기술, 가시도 분석기술과 연계되어 향후 위성통신망 설계도구로서 활용할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Dosiere and G. Maral, "Handover model and applications to LEO systems dimensioning", in *Proc. AIAA 15 th Int. Commun. Satellite Syst. Conf.*, San Diego, USA, pp. 770-774, Mar. 1994.
- [2] E. D. Re, R. Fantacci and G. Giambene, "Efficient Dynamic Channel Allocation Techniques with Handover Queueing Mobile Satellite Networks", *IEEE J. Select. Areas*, vol. 13, no. 2, pp. 397-405, Feb. 1995.
- [3] A. Ganz, B. Li and Y. Gong, "Performance Study of Low Earth-Orbit Satellite Systems", in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Geneva, Switzerland, pp. 1098-1102, May 1993, Geneva, Switzerland.

[4] P. Carter and M. A. Beach, "Evaluation of Handover Mechanisms in Shadowed Low Earth Orbit Land Mobile Satellite Systems", *Int. J. Satellite Commun.*, vol. 13, no. 3, pp. 177-190, May/June 1995.

[5] W. L. Pritchard and H. G. Suyderhoud, *Satellite Communication Systems Engineering*, Prentice Hall, pp. 115-123, 1993.

[6] ITU-R Rec. S. 672, "Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in fixed-satellite service employing geostationary satellites," Int. Telecommun. Union, Geneva, Switzerland, 1995.

[7] P. Taaghoul and R. Tafazolli, "Correlation model for shadow fading in land-mobile satellite systems," *Electron. Lett.*, vol 33, no. 15, pp. 1287-1289, July 1997.

[8] R. Vijayan and J. M. Holtzman, "A Model for Analysis Handoff Algorithms", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 3, pp. 351-356, Aug. 1993.

[9] N. Zhang and J. M. Holtzman, "Analysis of Handoff Algorithm using both Absolute and Relative Measurements", in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC)*, Stockholm, Sweden, pp. 82-86, Jun. 1994.

[10] R. J. Leopold, "Low-Earth Orbiting Satellite System", in *Proc. IEEE of Int. Conf. Universal Personal Commun. (ICUPC)*, pp. 69-92, 1992.

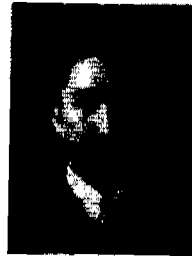
[11] G. E. Corazza and F. Vatalaro, "A Statistical Model for Land Mobile Satellite Channels and Its Application to Nongeostationary Orbit Systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 738-742, Aug. 1994.

[12] C. Loo, "Measurements and models of a land mobile satellite channel and their applications to MSK signals", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 35, no. 3, pp. 114-121, Aug. 1987.

[13] D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 35, no. 3, pp. 77-92, Aug. 1986.

조 재 원(Jaewoon Cho)

정회원



1995년 2월 : 서강대학교
전자공학과 학사
1997년 2월 : 서강대학교
전자공학과 석사
1997년 1월~1998년 1월 :
데이콤 종합연구소

1998년 2월 ~현재 : 서강대학교 전자공학과 박사과정
<주관심 분야> GMPCS 시스템, 이동통신 시스템

홍 대 형(Daehyoung Hong)

정회원



1977년 2월 : 서울대학교
전자공학과 학사
1977년 3월~1981년 7월 :
공군사관학교 교수부
1982년 12월 : State University
of New York 전기공학과 석사

1986년 8월 : State University of New York 전기공학과 박사
1986년 8월~1992년 2월 : (미) Motorola 연구소
1992년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 부교수
<주관심 분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능 분석, 무선망 운용 및 제어기술