

IMT-2000 망에서의 지상계 주파수 요구량 분석

정희원 장희선*, 조기성**, 임석구**, 전경표**

Analysis of Terrestrial Spectrum Requirements in the IMT-2000 Network

Hee-Seon Jang*, Kee-Sung Cho**, Seog-Ku Lim**, Kyung-Pyo Jun** *Regular Members*

요약

ITU-R 권고안을 토대로 미래 IMT-2000 무선망에서의 소요 서비스 채널수 및 지상계 주파수 요구량을 분석한다. IMT-2000 가입자가 요구하는 서비스를 크게 회선과 패킷교환 서비스로 분류하고 옥내, 보행자 및 차량용의 가입자 이용 환경을 고려한다. 본 논문에서는 2010년경 각종 IMT-2000 서비스에 대한 시장성과 무선 전송 기술의 파라미터 값을 이용하여 가입자의 기준 트래픽과 셀내 발생 트래픽을 계산하고 필요한 무선 채널수 및 소요 주파수를 산출한다. 또한, ITU-R에서 권고한 기준 트래픽을 바탕으로 서로 다른 가입자 수와 트래픽 분포 및 이용 환경에서 필요한 무선 채널수와 소요 주파수를 산출하며, 채널수와 주파수 요구량에 대한 패킷 서비스 지연시간의 민감도를 분석한다.

ABSTRACT

We analyze the terrestrial spectrum requirements in the future IMT-2000 networks by using the ITU-R recommendation. Based on the reference traffic of a user and offered traffic in a cell, we calculate the number of channels and required spectrum in a cell for various traffic conditions. We also perform the sensitivity analysis for the delay time of the packet services. The scheduled services in the year 2010 are classified into circuit and packet switching modes, and three type of environments such as central business district (CBD), pedestrian (PED) and vehicle (VEH) are considered. To determine the number of service channels in a cell, the Erlang-B (Erlang loss) formula for the circuit switching services and Erlang-C (Erlang delay) model for the packet switching services have been adopted.

1. 서론

ITU-R^{[1][2]}에서는 2003년부터 상용화될 IMT-2000^[3] 서비스를 지원하기 위해 필요한 지상계 및 위성계에서의 주파수 요구량을 계산하기 위한 체계적인 방법을 권고하였다. 특히, 권고안^[4]에서는 IMT-2000 이동통신 서비스에 대한 시장성과 2010년경 각종 IMT-2000 무선 전송 기술의 파라미터 값에 대한 예측치를 이용하여 IMT-2000망에서 요구하는 지상계 주파수 요구량을 산출하였다.

ITU-R에서는 2010년 까지 IMT-2000 사용자가 요구하는 대표적인 서비스로 음성(Speech), 회선교환 데이터(Switched Data), 대화식 고속 멀티미디어(High Interactive Multimedia)의 회선교환 서비스와 단문 메시지(Simple Message), 표준 멀티미디어(Medium Multimedia), 고속 멀티미디어(High Multimedia)의 패킷교환 서비스로 총 6개의 서비스를 가정한다. 그리고 크게 옥내(CBD: Central Business District), 보행자(PED: Pedestrian) 및 차량(VEH: Vehicle)용으로 3종류의 가입자 환경을 고

* 천안외국어대학 컴퓨터정보과

** 한국전자통신연구원 이동교환팀

논문번호: 00185-0524, 접수일자: 2000년 5월 24일

려한다. 입력 파라미터로서 셀 면적, 가입자 밀도, 서비스 보급율, 호 시도수, 호 지속시간, 서비스 활성화율을 이용하며 이를 바탕으로 셀당 가입자 수와 가입자당 발생 트래픽을 산출한다. 또한, 하나의 group내에 7 clusters의 셀을 가정하여 group내에서 서비스를 지원하는데 필요한 채널 수를 구하고 각 셀에서의 채널수 및 발생 트래픽을 토대로 필요한 주파수 요구량을 구한다. 임의의 셀내에서 필요한 서비스 채널수를 구하기 위해 회선교환에 대해서는 Erlang-B 공식을 이용하며, 패킷교환 서비스에 대해서는 Erlang-C 모델을 이용한다.

본 논문에서는 IUT-R에서 제시된 방법을 이용하여 기준 트래픽에 대한 트래픽 특성을 분석하고 셀당 채널 수 및 주파수 요구량을 구한다. 그리고 6가지 IMT-2000 서비스에 대한 가입자의 수가 서로 다른 경우 요구되는 무선 채널수 및 주파수 요구량을 산출하고 가입자 환경 즉, 옥내, 보행자 및 차량용 가입자의 분포가 변하는 경우 셀내 채널수와 소요 주파수를 분석한다. 여기서 가입자의 분포는 크게 회선과 패킷교환 이용자에 대한 비율을 조정하여 각각의 서비스 이용자의 수를 변화시킨다. 또한, 셀당 발생 트래픽의 변화에 따른 소요 주파수 요구량을 분석한다. 끝으로 패킷교환 서비스에 대한 지연시간 기준의 변화에 따른 패킷교환용 무선 채널수 및 주파수 요구량을 산출하고 지연시간 기준이 무선 채널수와 주파수 요구량에 미치는 영향을 분석한다.

II. 기준 트래픽

<표 1>은 ITU-R^[1]에서 권고하는 IMT-2000에서의 서비스 종류, 서비스별 수율, 호 시도수 및 호 지속시간을 나타낸다. 2010년까지 다음과 같은 6개의 서비스를 지원하며 회선과 패킷교환 서비스로 나누었다.

- Speech (S): 음성 (회선)
- Simple Message (SM): 단문 메시지 (패킷)
- Switched Data (SD): 회선교환 데이터 (회선)
- Medium Multimedia (MMM):
표준 멀티미디어 (패킷)
- High Multimedia (HMM):
고속 멀티미디어 (패킷)
- High Interactive Multimedia (HIMM):
대화식 고속 멀티미디어 (회선)

패킷 교환 서비스인 Medium Multimedia와 High Multimedia의 경우, 상향(Uplink: 이동가입자기지국)과 하향(Downlink: 이동가입자기지국) 링크에서 발생하는 Bit rate를 달리 책정하였다. High Multimedia의 경우 기지국에서 이동가입자로의 채널 대역폭은 2 Mbps이지만 가입자가 요구하는 서비스는 128 kbps임을 알 수 있다.

그리고 크게 옥내(CBD: Central Business District), 보행자(PED: Pedestrian) 및 차량(VEH: Vehicle) 가입자로 나누어 호처리 기준부하 및 호 지속시간을 정의하였다. 회선교환 서비스에 비해 패킷교환 서비스의 경우 호 시도회수는 작지만 통화 시간은 길다.

표 1. IMT-2000에서의 기준 트래픽

| | 회선 교환 | | | 패킷 교환 | | | |
|-------------|-------|-----|------|-------|-----|-------|-------|
| | S | SD | HIMM | SM | MMM | HMM | |
| 수율(kbps) | | | | | | | |
| Uplink | 16 | 64 | 128 | 14 | 64 | 128 | |
| Downlink | 16 | 64 | 128 | 14 | 384 | 2,000 | |
| C B D | BHCA | 3 | 0.2 | 0.14 | 0.6 | 0.5 | 0.15 |
| | sec | 180 | 156 | 120 | 3 | 3,000 | 3,000 |
| P E D | BHCA | 0.8 | 0.2 | 0.07 | 0.3 | 0.4 | 0.06 |
| | sec | 120 | 156 | 120 | 3 | 3,000 | 3,000 |
| V E H | BHCA | 0.4 | 0.02 | 0.011 | 0.2 | 0.008 | 0.008 |
| | sec | 120 | 156 | 120 | 3 | 3,000 | 3,000 |

<표 2>는 옥내, 보행자 및 차량용 가입자 환경에 대한 셀 면적 및 가입자 밀도를 나타낸다. 옥내 셀의 면적은 가장 작은 반면, 단위 면적당 가입자 수는 가장 많음을 알 수 있다.

표 2. 가입자 환경 및 밀도

| | CBD | PED | VEH |
|----------------------------------|-------|---------|---------|
| 셀 면적 (m ² /cell) | 5,000 | 312,000 | 312,000 |
| 가입자 밀도(users/m ²) | 0.18 | 0.1 | 0.003 |

실제 미래의 IMT-2000 환경에서는 <표 2>에서 정의한 세가지 유형의 셀들이 혼재할 것이며, 각각의 가입자 환경에 따른 셀내 가입자 수 및 가입자당 요구 트래픽을 산출하기 위해 <표 3>에 서비스 보급율(Penetration ratio)과 서비스 활성화율(Activity factor)을 정의한다. 서비스 보급율은 각각의 가입자 환경에서 총 가입자에 대한 특정 서비스를

이용하는 가입자의 수를 나타내는 파라메타 값이다. 가입자들은 한가지 이상의 서비스를 이용할 수도 있으므로 임의의 환경에서 총 서비스 보급율은 100%를 넘을 수도 있다. 서비스 활성화율이란 하나의 호가 지속되는 동안 실제적으로 자원이 사용되는 시간의 백분율 값을 의미한다. 여기서는 CBD, PED 및 VEH의 세가지 가입자 환경에 대해 동일한 서비스 보급율과 활성화율을 가정하였으며, MMM과 HMM의 패킷교환 서비스의 경우에서만 상향과 하향에서의 서비스 활성화율을 달리 측정하였다.

표 3. 서비스 보급율 및 활성화율(100%)

| 서비스 | 서비스 보급율 | 서비스 활성화율 | |
|------|---------|----------|-------|
| | | 상향 | 하향 |
| S | 0.73 | 0.5 | 0.5 |
| SM | 0.40 | 1.0 | 1.0 |
| SD | 0.13 | 1.0 | 1.0 |
| MMM | 0.15 | 0.00285 | 0.015 |
| HMM | 0.15 | 0.00285 | 0.015 |
| HIMM | 0.25 | 1.0 | 1.0 |

III. 주파수 요구량 산출 방법

[그림 1]은 IMT-2000 망에서의 지상계 주파수 요구량 산출 절차를 나타낸다. <표 1>~<표 3>에서 정의한 기준 트래픽, 셀 특성, 서비스 보급율 및 활성화율 등을 이용하여 요구 주파수 산출 방법을 요약하면 다음과 같다.

① 셀당 가입자수(users/cell)

각각의 서비스 및 가입자 환경에 따라 셀 면적(cell_area)과 가입자 밀도(density) 및 서비스 보급율(penetration_ratio)을 이용하여 셀당 가입자 수를 다음과 같이 산출한다.

$$\begin{aligned}
 users / cell &= cell_area(m^2 / cell) \\
 &\quad \times density(users / m^2) \\
 &\quad \times penetration_ratio
 \end{aligned} \tag{1}$$

② 가입자당 트래픽(erlang/user)

호 시도회수(BHCA)와 호 지속시간(call_duration) 및 서비스 활성화율(activity_factor)을 고려하여 각각의 서비스 및 가입자 환경에 대한 가입자당 발생 트래픽을 구한다.

$$\begin{aligned}
 erlang / user &= BHCA(calls / hour) \\
 &\quad \times call_duration(hour) \\
 &\quad \times activity_factor
 \end{aligned} \tag{2}$$

③ Group내 발생 트래픽(erlang/group)

식(1)의 셀당 가입자 수(users/cell)와 식(2)의 가입자당 트래픽(erlang/user)을 이용하여 7개의 셀(7 clusters)로 구성된 하나의 group에서 발생하는 총 트래픽을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 erlang / group &= users / cell \\
 &\quad \times erlang / user \times 7
 \end{aligned} \tag{3}$$

④ Group내 서비스 채널(channels/group)

식(3)의 group내 발생 트래픽을 수용하기 위한 소요 채널 수를 구하기 위해 블러킹 확률을 1%로 가정한다. 회선 교환 서비스의 경우 Erlang-B(Erlang loss formula) 모델^[3]을 이용하여 다음 식을 만족하는 채널 수, C를 구한다.

$$0.01 = \frac{a^C / C!}{\sum_{k=0}^C a^k / k!} \tag{4}$$

여기서 a는 식(3)에서 구한 erlang/group을 나타내며 실제로는 블러킹 확률 1%를 넘지않는 최대 서비스 채널수를 구한다.

한편, 패킷 서비스의 경우 Erlang-C(Erlang delay formula) 모델을 적용한다. 안정상태의 M/M/C 시스템에서 서비스가 FCFS(First-Come-First-Service)로 진행될 때 대기시간, W의 분포함수는 다음과 같다^[3].

$$\begin{aligned}
 Pr[W < x] &= 1 - \frac{a^C}{C!(1-a/C)} \frac{Exp[-\mu(C-a)x]}{\sum_{k=0}^{C-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^C}{C!(1-a/C)}}
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 1/μ은 평균 호 지속시간을 의미하며, 패킷 서비스의 경우 블러킹 확률은 “대기시간이 평균 호 지속시간의 반 이상이 될 확률”로 정의하고 블러킹 확률 1%를 넘지 않는 채널수, C를 구한다.

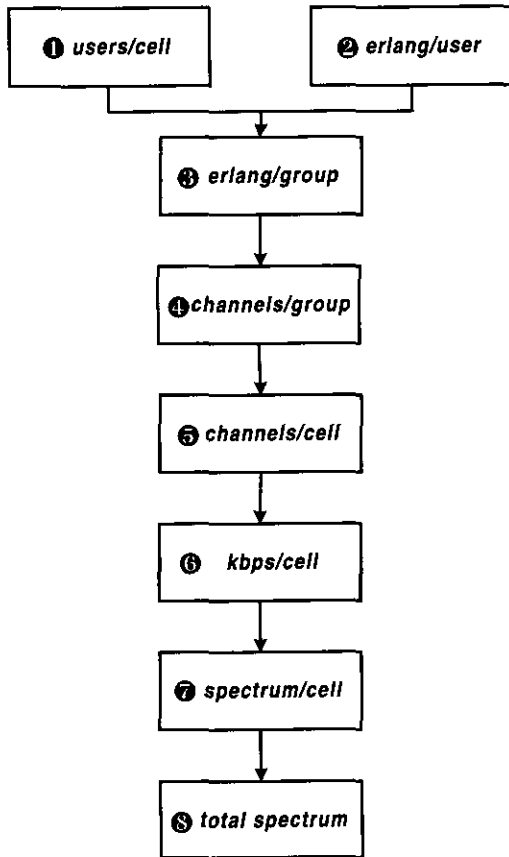


그림 1. IMT-2000 망에서의 지상계 주파수 요구량 산출 절차

$$0.01 = \Pr \left[W > \frac{1}{2\mu} \right] = \frac{a^c}{C!(1-a/C)} \frac{\text{Exp} \left[-\frac{C-a}{2} \right]}{\sum_{k=0}^{C-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^C}{C!(1-a/C)}} \quad (6)$$

③ 셀당 소요 채널 (channels/cell)

Group내 소요 채널수(channels/group)와 group의 크기로부터 각각의 셀에 필요한 채널수를 구할 수 있다.

$$\text{channels / cell} = \frac{\text{channels / group}}{7} \quad (7)$$

⑥ 셀당 발생 수율 (kbps/cell)

각각의 서비스 채널(channel/cell)에서 발생하는 수율은 가입자가 요구하는 서비스 수율과 동일하다

고 가정하여 <표 1>의 서비스 수율(service_bit_rate)로부터 셀당 발생 수율을 다음과 같이 구한다.

$$\text{kbps / cell} = \text{channel / cell} \times \text{service_bit_rate} \quad (8)$$

⑦ 셀당 소요 주파수 (spectrum/cell)

IMT-2000 시스템에서의 주파수 처리 능력(kbps/MHz/cell)을 고려하여 셀당 소요 주파수를 산출한다.

$$\text{spectrum / cell} = \frac{\text{kbps / cell}}{\text{kbps / MHz / cell}} \quad (9)$$

여기서 상향과 하향에 대해 음성 서비스의 경우 시스템 처리 능력은 70 kbps/MHz/cell, 나머지 서비스는 125 kbps/MHz/cell을 가정한다.

⑧ 총 요구 주파수 (total spectrum)

끝으로, 복수 사업자 및 보호 대역 등의 가중치를 고려하여 세가지 유형의 셀들이 혼재된 임의의 셀 내에서의 총 요구 주파수를 구하면 다음과 같다.

$$\text{total spectrum} = \beta \sum_{\text{cell}} \text{spectrum / cell} \quad (10)$$

여기서 β는 보정인자(adjustment factor)로써 소요 주파수 산출에 영향을 미치는 모든 요인을 고려하여 β=1.23을 가정한다. 상향과 하향 링크에서의 총 요구 주파수를 구하기 위해서는 ⑦에서 구한 각각의 서비스 및 가입자 환경별 셀당 소요 주파수(spectrum/cell)을 각각의 링크에 대해 더해주면 된다.

IV. 주파수 요구량 분석

1. 기준 트래픽에서의 주파수 요구량

<표 2>의 가입자 환경 및 밀도 그리고 <표 3>의 서비스 보급율을 이용하여 셀당 가입자 수(users/cell)를 구하면 <표 4>와 같다. 여기서 비율은 전체 59,795.16명의 가입자에 대한 각각의 서비스 및 가입자 환경에서의 가입자 비율을 나타낸다. 전체 서비스 중 회선교환은 61.3%(S+SD+HIMM), 패킷교환은 38.7%(SM+MMM+HMM)를 차지하며, 대부분 보행자 중심의 가입자를 가정하였음을 알 수 있다.

<표 1>~<표 3>의 기준 트래픽에 대한 파라미터 값을 이용하여 각각의 가입자 환경 및 서비스에 대

표 4. 셀당 가입자 수(users/cell)

| | CBD | PED | VEH | Total | 비율(%) |
|-------|-------|--------|--------|----------|-------|
| S | 657 | 22,776 | 683.3 | 24,116.3 | 40.3 |
| SM | 360 | 12,480 | 374.4 | 13,214.4 | 22.1 |
| SD | 117 | 4,056 | 121.7 | 4,294.7 | 7.2 |
| MMM | 135 | 4,680 | 140.4 | 4,955.4 | 8.3 |
| HMM | 135 | 4,680 | 140.4 | 4,955.4 | 8.3 |
| HIMM | 225 | 7,800 | 234 | 8,259 | 13.8 |
| Total | 1,629 | 56,472 | 1694.2 | 59,795.2 | |
| 비율(%) | 2.7 | 94.5 | 2.8 | | 100 |

해 셀당 소요 채널(channels/cell), 셀당 발생 수율(kbps/cell) 및 소요 주파수(spectrum/cell)를 구하면 <표 5>~<표 8>과 같다.

<표 5>로 부터 음성에 대한 소요 채널 수가 다른 서비스에 비해 상당히 많음을 알 수 있다. 이는 음성의 호 시도회수(BHCA)가 다른 호에 비해 크기 때문이다. ITU-R에서 제시한 기준 트래픽을 만족시키기 위해서는 445개(상향, 회선 432, 패킷 13)와 469개(하향, 회선 432, 패킷 37)의 채널, 총 914개의 채널이 필요함을 알 수 있다. <표 6>과 <표 7>은 각각 상향과 하향 링크에서의 셀당 발생 수율을 나타낸다. MMM과 HMM 서비스에 대해 상향과 하향링크에서 발생하는 트래픽이 서로 다르며, 상향

표 5. 셀당 서비스 채널(channels/cell)

| | CBD | | PED | | VEH | |
|-------|-------|-------|--------|--------|------|------|
| | 상향 | 하향 | 상향 | 하향 | 상향 | 하향 |
| S | 52.85 | 52.85 | 307.68 | 307.68 | 6.27 | 6.27 |
| SM | 0.61 | 0.61 | 3.98 | 3.98 | 0.43 | 0.43 |
| SD | 2.01 | 2.01 | 38.44 | 38.44 | 0.57 | 0.57 |
| MMM | 0.59 | 1.56 | 5.45 | 24.54 | 0.29 | 0.29 |
| HMM | 0.43 | 0.82 | 1.38 | 4.37 | 0.29 | 0.29 |
| HIMM | 2.05 | 2.05 | 20.91 | 20.91 | 0.57 | 0.57 |
| Total | 58.54 | 59.90 | 377.84 | 399.92 | 8.41 | 8.41 |

표 6. 상향에서의 셀당 발생 수율(kbps/cell)

| | CBD | PED | VEH | Total | 비율(%) |
|-------|---------|-----------|--------|-----------|-------|
| S | 845.54 | 4,922.88 | 100.31 | 5,868.73 | 47.91 |
| SM | 8.52 | 55.68 | 6 | 70.2 | 0.57 |
| SD | 128.89 | 2,460.01 | 36.57 | 2,625.47 | 21.43 |
| MMM | 37.69 | 348.54 | 18.29 | 404.52 | 3.3 |
| HMM | 54.86 | 176.79 | 36.57 | 268.22 | 2.19 |
| HIMM | 262.4 | 2,677.03 | 73.14 | 3,012.57 | 24.59 |
| Total | 1,337.9 | 10,640.93 | 270.88 | 12,249.71 | |
| 비율(%) | 10.92 | 86.87 | 2.21 | | 100 |

링크의 경우 전체 발생 트래픽에 대해 회선은 94%, 패킷은 6%인 반면, 하향 링크에서는 회선 35%, 패킷은 65% 정도 차지함을 알 수 있다.

<표 8>로 부터 기준 트래픽에 대한 각각의 서비스와 셀 환경에 따른 소요 주파수를 알 수 있다. 보정인자를 고려하여 상향 166 MHz(회선 129, 패킷 37), 하향 367 MHz(회선 129, 패킷 238)를 합하여 총 533 MHz의 무선 자원이 필요하다.

표 7. 하향에서의 셀당 발생 수율(kbps/cell)

| | CBD | PED | VEH | Total | 비율(%) |
|-------|----------|-----------|--------|-----------|-------|
| S | 845.54 | 4,922.88 | 100.31 | 5,868.73 | 17.97 |
| SM | 8.52 | 55.68 | 6 | 70.2 | 0.21 |
| SD | 128.89 | 2,460.01 | 36.57 | 2,625.47 | 8.04 |
| MMM | 598.29 | 9,424.46 | 109.71 | 10,132.46 | 31.02 |
| HMM | 1,649.11 | 8,734.29 | 571.43 | 10,954.83 | 33.54 |
| HIMM | 262.4 | 2,677.03 | 73.14 | 3,012.57 | 9.22 |
| Total | 3,492.75 | 28,274.35 | 897.16 | 32,664.26 | |
| 비율(%) | 10.69 | 86.56 | 2.75 | | 100 |

표 8. 셀당 소요 주파수(spectrum/cell)

| | CBD | | PED | | VEH | |
|-------|-------|-------|--------|--------|------|------|
| | 상향 | 하향 | 상향 | 하향 | 상향 | 하향 |
| S | 12.08 | 12.08 | 70.33 | 70.33 | 1.43 | 1.43 |
| SM | 0.07 | 0.07 | 0.45 | 0.45 | 0.05 | 0.05 |
| SD | 1.03 | 1.03 | 19.68 | 19.68 | 0.29 | 0.29 |
| MMM | 0.30 | 4.79 | 2.79 | 75.39 | 0.15 | 0.88 |
| HMM | 0.44 | 13.19 | 1.41 | 69.87 | 0.29 | 4.57 |
| HIMM | 2.09 | 2.09 | 21.42 | 21.42 | 0.59 | 0.59 |
| Total | 16.02 | 33.26 | 116.07 | 257.14 | 2.79 | 7.81 |

2. 가입자 수 변화에 따른 주파수 요구량

전체 가입자중 회선과 패킷교환 서비스에 대한 가입자 비율의 변화에 따른 소요 채널수 및 주파수 요구량을 분석한다. 여기서 가입자 환경은 CBD: PED: VEH=40:40:20%을 가정하며 각각의 회선 및 패킷교환 서비스에 대한 비율은 동일하다고 가정한다. 예를 들어, 회선과 패킷교환 서비스의 비율이 70:30%라고 할 때 음성/옥내 서비스의 가입자는 5,581명(=59,795.160.7/30.4)이고 HMM/VEH 서비스 이용자 수는 1,196명(=59,795.160.3/30.2)이다.

<표 9>와 <표 10>은 각각 상향과 하향 링크에서 회선/패킷교환 서비스의 비율 변화에 따른 소요 채널수 및 주파수 요구량을 나타낸다. 표에서는 각 셀에서 회선(S+SD+HIMM)과 패킷(SM+MMM+HMM) 교환 서비스에 필요한 채널수 및 주파수 요구량을

구분하여 나타내었으며 총 주파수 요구량은 보정인자를 고려한 값이다.

전체 가입자 중 패킷교환 서비스를 이용하는 가입자의 비율이 증가함에 따라 패킷 서비스를 위한 채널수와 주파수 요구량은 증가하는 반면, 회선교환 서비스의 채널수와 주파수 요구량은 감소한다. 회선교환 서비스를 위한 채널수 및 주파수 요구량은 상향과 하향 링크에 대해 동일하며, 패킷교환 서비스가 30%에서 90%로 증가할 때 회선교환용 채널은 83.9%, 주파수는 82.9% 감소한다.

한편, 패킷교환 서비스의 이용자가 증가할 때 하향 링크에서의 패킷교환 서비스용 채널수 및 주파수 요구량의 증가율이 상향 링크에 비해 큼을 알 수 있다. 이는 하향 링크에서 MMM과 HMM의 패킷교환 서비스 수율이 각각 384 kbps(MMM)와 2 Mbps(HMM)로 다른 서비스의 수율에 비해 훨씬 크기 때문이다. 또한, 이로 인해 패킷교환 서비스의 비율이 증가할 때 하향 링크에서의 총 주파수 요구량이 증가함을 알 수 있다. 반면, 상향 링크에서의 총 주파수 요구량은 패킷 교환 서비스의 비율 증가에 따라 감소한다.

패킷교환 서비스의 비율이 30%에서 90%로 증가할 때 총 채널수는 상향 79.6%, 하향 68.8% 감소하고, 주파수 요구량은 상향 링크에서 76.4% 감소하는 반면, 하향 링크에서는 42.7%가 증가한다. 앞에서 구한 기준 트래픽의 경우와 비교할 때 패킷교환 서비스의 비율이 50%의 경우 채널 수는 평균 16.5%(상향 14.4%, 하향 18.6%) 증가하고, 보정인자를 고려한 총 주파수는 50.4%(상향 27.4%, 하향 73.3%) 정도 증가함을 알 수 있다.

표 9. 가입자 수 변화에 따른 채널수 및 주파수 요구량(상향)

| 회선:패킷 (%) | 채널수 | | | 주파수 | | |
|-----------|-----|----|-------|-----|----|-------|
| | 회선 | 패킷 | Total | 회선 | 패킷 | Total |
| 70:30 | 676 | 14 | 690 | 222 | 7 | 282 |
| 50:50 | 489 | 20 | 509 | 162 | 10 | 212 |
| 30:70 | 300 | 26 | 326 | 101 | 14 | 142 |
| 10:90 | 109 | 32 | 141 | 38 | 16 | 67 |

표 10. 가입자 수 변화에 따른 채널수 및 주파수 요구량(하향)

| 회선:패킷 (%) | 채널수 | | | 주파수 | | |
|-----------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|
| | 회선 | 패킷 | Total | 회선 | 패킷 | Total |
| 70:30 | 676 | 43 | 719 | 222 | 232 | 559 |
| 50:50 | 489 | 67 | 556 | 162 | 355 | 636 |
| 30:70 | 300 | 91 | 391 | 101 | 484 | 720 |
| 10:90 | 109 | 115 | 224 | 38 | 610 | 797 |

3. 가입자 환경 변화에 따른 주파수 요구량

<표 11>과 <표 12>는 서로 다른 가입자 환경의 비율에 따른 서비스 채널수 및 주파수 요구량을 보여준다. CBD에 대한 비율이 다른 환경보다 높을 때(CBD:PED:VEH=60:20:20%) 채널수 및 주파수 요구량이 가장 큰 값을 갖는다. 이는 <표 1>에서 알 수 있듯이 CBD에서의 가입자 호시도 회수가 다른 환경에 비해 높기 때문이다.

표 11. 가입자 환경 변화에 따른 채널수 및 주파수 요구량(상향)

| CBD: PED: VEH(%) | 채널수 | | | 주파수 | | |
|------------------|-----|----|-------|-----|----|-------|
| | 회선 | 패킷 | Total | 회선 | 패킷 | Total |
| 60:20:20 | 614 | 21 | 635 | 193 | 11 | 251 |
| 20:60:20 | 361 | 19 | 380 | 128 | 9 | 169 |
| 20:20:60 | 294 | 14 | 308 | 97 | 7 | 128 |
| 33:33:33 | 424 | 18 | 442 | 140 | 9 | 183 |

표 12. 가입자 환경 변화에 따른 채널수 및 주파수 요구량(하향)

| CBD: PED: VEH(%) | 채널수 | | | 주파수 | | |
|------------------|-----|----|-------|-----|-----|-------|
| | 회선 | 패킷 | Total | 회선 | 패킷 | Total |
| 60:20:20 | 614 | 71 | 685 | 193 | 398 | 727 |
| 20:60:20 | 361 | 61 | 422 | 128 | 311 | 540 |
| 20:20:60 | 294 | 38 | 332 | 97 | 207 | 374 |
| 33:33:33 | 424 | 57 | 481 | 140 | 309 | 552 |

가입자 환경별 비율이 33%로 모두 동일할 때 보다 CBD의 비율이 60%일 때 채널수는 평균 43.1%, 주파수는 34.5%가 증가한다. 또한, PED의 비율이 VEH의 비율 보다 전체 채널수와 주파수 요구량에 미치는 영향이 다소 큼을 알 수 있다. 기준 트래픽의 경우와 비교할 때 가입자 환경별 비율이 동일한 경우 기준에 비해 채널 수는 0.9%, 주파수는 30.3% 정도가 증가한다.

4. 셀당 발생 수율 변화에 따른 주파수 요구량

<표 13>은 셀당 발생 수율의 변화에 따른 주파수 요구량을 나타낸다. 여기서 회선과 패킷의 비율은 총 12,249.71 kbps/cell (상향, <표 6>) 및 32,664.26 kbps/cell (하향, <표 7>)에 대한 비율을 나타내며 가입자 환경은 CBD:PED:VEH=40:40:20%를 가정하였다. 식(8)에서 보듯이 셀당 발생 수

올은 셀당 소요 채널수와 서비스 수율로부터 구해 지므로 이경우 필요한 채널 수는 <표 5>에서 구한 기준 트래픽의 결과와 동일하다.

회선에 비해 패킷 트래픽의 비율이 증가함에 따라 회선 서비스를 위한 주파수는 감소하며, 패킷 서비스용 주파수는 증가한다. 가입자 수 변화에 따른 주파수 요구량 변화와는 달리, 패킷 트래픽의 비율이 높아짐에 따라 상향과 하향 링크에서의 총 주파수 요구량은 모두 감소함을 알 수 있다.

표 13. 수율 변화에 따른 주파수 요구량

| 회선:패킷 (%) | 주파수(상향) | | | 주파수(하향) | | |
|-----------|---------|----|-------|---------|-----|-------|
| | 회선 | 패킷 | Total | 회선 | 패킷 | Total |
| 70:30 | 87 | 30 | 143 | 231 | 79 | 381 |
| 50:50 | 62 | 49 | 137 | 165 | 131 | 364 |
| 30:70 | 38 | 69 | 130 | 99 | 183 | 347 |
| 10:90 | 13 | 89 | 124 | 33 | 236 | 330 |

5. 패킷 지연시간 기준에 따른 주파수 요구량

식(6)에서 단문 메시지(Simple Message), 표준 멀티미디어(Medium Multimedia) 및 고속 멀티미디어(High Multimedia)의 패킷 교환 서비스의 경우 블러킹 확률을 대기시간이 평균 호 지속시간의 반 이상이 될 확률로 정의하였다. <표 14>~<표 17>에서는 회선과 패킷교환 서비스의 비율에 대해 여러가지 지연시간 기준에 따른 채널수 및 주파수 요구량을 보여준다. CBD:PED:VEH=40:40:20%를 가정하며, 지연시간의 값은 식(6)에서 $Pr\{W> \text{지연시간} \times 1/\mu\}$ 을 의미하고, 지연시간이 0이란 서비스중인 호를 포함하여 시스템내의 모든 호의 수가 가용 채널수 보다 많을 확률을 1% 이하로 유지하기 위해 필요한 채널 수 및 주파수 요구량을 나타낸다.

<표 14>와 <표 15>는 상향 링크에서, <표 16>과 <표 17>은 하향 링크에서의 채널수 및 주파수요구량을 나타낸다. 회선교환을 위한 채널 수는 패킷 교환 서비스의 지연시간과 무관하므로 표에서는

표 14. 지연시간 기준에 따른 채널수 (상향)

| 지연 시간 | 회선:패킷 =70:30% | | 회선:패킷 =50:50% | | 회선:패킷 =30:70% | | 회선:패킷 =10:90% | |
|-------|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|
| | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 |
| 0 | 17 | 693 | 24 | 513 | 32 | 331 | 39 | 147 |
| 0.25 | 15 | 691 | 22 | 510 | 28 | 328 | 34 | 142 |
| 0.5 | 14 | 690 | 20 | 509 | 26 | 326 | 32 | 141 |
| 0.75 | 13 | 689 | 19 | 507 | 25 | 325 | 31 | 139 |
| 1.0 | 12 | 688 | 18 | 506 | 24 | 324 | 30 | 138 |

표 15. 지연시간 기준에 따른 주파수요구량 (상향)

| 지연 시간 | 회선:패킷=7 0:30% | | 회선:패킷=50:50% | | 회선:패킷=3 0:70% | | 회선:패킷=1 0:90% | |
|-------|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|---------------|----|
| | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 |
| 0 | 8 | 283 | 12 | 213 | 16 | 143 | 19 | 70 |
| 0.25 | 7 | 282 | 11 | 212 | 14 | 142 | 17 | 67 |
| 0.5 | 7 | 282 | 10 | 212 | 13 | 142 | 16 | 67 |
| 0.75 | 6 | 281 | 9 | 210 | 12 | 138 | 15 | 65 |
| 1.0 | 6 | 281 | 9 | 209 | 12 | 137 | 14 | 64 |

표 16. 지연시간 기준에 따른 채널수 (하향)

| 지연 시간 | 회선:패킷=7 0:30% | | 회선:패킷=50:50% | | 회선:패킷=3 0:70% | | 회선:패킷=1 0:90% | |
|-------|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|
| | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 |
| 0 | 50 | 726 | 77 | 565 | 104 | 404 | 130 | 238 |
| 0.25 | 44 | 720 | 69 | 557 | 94 | 393 | 118 | 227 |
| 0.5 | 43 | 719 | 67 | 556 | 91 | 391 | 115 | 224 |
| 0.75 | 41 | 717 | 65 | 553 | 89 | 389 | 112 | 221 |
| 1.0 | 40 | 715 | 64 | 552 | 87 | 388 | 111 | 219 |

표 17. 지연시간 기준에 따른 주파수 요구량 (하향)

| 지연 시간 | 회선:패킷=7 0:30% | | 회선:패킷=50:50% | | 회선:패킷=3 0:70% | | 회선:패킷=1 0:90% | |
|-------|---------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|
| | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 | 패킷 | 합 |
| 0 | 276 | 612 | 421 | 717 | 564 | 817 | 701 | 908 |
| 0.25 | 242 | 570 | 375 | 660 | 502 | 741 | 634 | 826 |
| 0.5 | 232 | 559 | 355 | 636 | 484 | 720 | 610 | 797 |
| 0.75 | 223 | 547 | 346 | 624 | 472 | 703 | 596 | 778 |
| 1.0 | 214 | 537 | 340 | 617 | 464 | 694 | 590 | 772 |

패킷교환용과 시스템 전체에 대한 채널수 및 주파수 요구량에 대한 결과만을 나타내었다.

지연시간이 길수록 즉, 모든 채널이 사용중일 때 도착하는 패킷 서비스가 큐에서 기다릴 수 있는 여유시간이 많을수록 시스템내에 필요한 채널 및 주파수 요구량이 감소한다. 이러한 감소 현상은 패킷 서비스에 대한 비율이 높을수록, 그리고 상향 링크에서 보다 하향 링크에서 더욱 큼을 알 수 있다. 이는 패킷 서비스에 대한 group내 발생 트래픽(erlang/group)이 높을수록 지연시간 기준에 민감하기 때문이다.

[그림 2]는 지연시간이 0과 0.5에 대해 여러가지 group내 발생 erlang(a)에 따른 확률 $1 - Pr\{W> \text{지연시간} \times 1/\mu\}$ 을 도식한 것이다. 따라서 확률 0.99에 해당하는 서비스 채널 수가 해당 지연시간과 트래픽하에서의 블러킹 1%을 만족하는 채널 수를

의미한다. 지연시간이 0.5에서 0으로 감소할 때 erlang=10의 경우 1%의 블러킹을 만족시키기 위해서는 4개의 채널이 더 소요되지만 erlang=25로 증가하면 8개의 서비스 채널이 더 필요함을 알 수 있다.

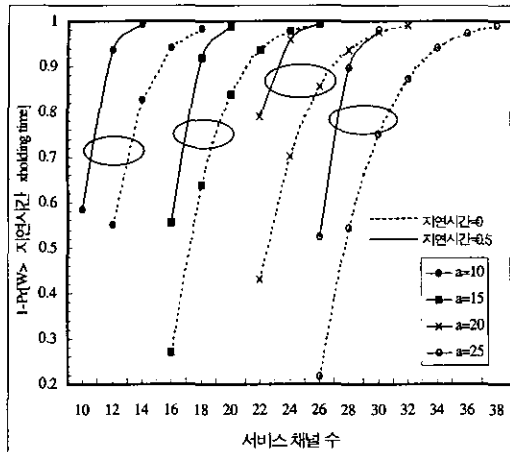


그림 2. 지연시간과 트래픽의 변화에 따른 서비스 채널수

V. 결론

본 논문에서는 1999년 ITU-R에서 권고한 방법을 이용하여 IMT-2000 무선망에서의 지상계 주파수 요구량을 분석하였다. 2010년경 각종 IMT-2000 서비스에 대한 시장성과 무선 전송 기술의 파라미터 값을 통해 가입자의 기준 트래픽과 셀내 발생 트래픽을 계산하고 이를 바탕으로 여러 가입자 분포 및 가입자 환경에서 필요한 무선 서비스 채널수 및 소요 주파수를 산출 하였다.

음성, 회선교환 데이터, 대화식 고속 멀티미디어의 회선교환 서비스와 단문 메시지, 표준 멀티미디어, 고속 멀티미디어의 패킷교환 서비스로 총 6개의 서비스를 가정하고, 크게 옥내(CBD: Central Business District), 보행자(PED: Pedestrian) 및 차량(VEH: Vehicle)용 가입자로 나누어 각각의 서비스 및 가입자 환경별로 발생하는 트래픽을 분석하였다. 또한, 서비스 품질을 적용하기 위해 회선교환 호에 대해서는 Erlang-B 공식을 이용하고 패킷교환 서비스에 대해서는 Erlang-C 모델을 적용하였다.

ITU-R에서 제시한 기준 트래픽을 적용한 결과, 셀당 총 914개(상향 445개, 하향 469개)의 채널이 필요하며 이를 위해 533 MHz (상향 166 MHz, 하향 367 MHz)의 주파수가 필요함을 알 수 있었다.

패킷교환 서비스의 비율이 증가함에 따라 패킷

서비스를 위한 채널수와 주파수 요구량은 증가하는 반면, 회선교환 서비스의 채널수와 주파수 요구량은 감소한다. 패킷교환 가입자가 증가할 때 회선교환 서비스를 위한 채널수 및 주파수 요구량은 상향과 하향 링크에 대해 동일하며, 하향 링크에서의 패킷교환 서비스용 채널수 및 주파수 요구량의 증가율이 상향 링크에 비해 큼을 알 수 있었다. 또한, 다른 가입자 환경에 비해 CBD에 대한 비율이 상대적으로 높을 때 채널수 및 주파수 요구량이 가장 큰 값을 갖는다. 끝으로 패킷교환 서비스에 대한 지연시간의 민감도 분석 결과, 지연시간이 길수록 시스템내 필요한 채널 및 주파수 요구량이 감소하며, 이러한 감소 현상은 패킷 서비스에 대한 비율이 높을수록, 그리고 상향 링크에서 보다 하향 링크에서 더욱 큼을 알 수 있었다.

ITU-R에서는 본 논문에서 이용된 모든 파라미터 값이 미래의 시장성을 근거로 한 예측치이며 보다 완전한 해를 위해서는 여러 환경적인 요소와 추가적인 서비스를 고려해야 함을 언급하였다. 그리고 본 논문에서의 주파수 요구량 산출 방법은 IMT-2000에서 뿐만 아니라 현재와 미래의 이동통신 서비스를 지원하기 위해 필요한 대략적인 소요 주파수의 예측을 위해서 유용하게 이용될 수 있음을 강조하였다.

참고 문헌

- [1] ITU-R M.1390, "Methodology for the Calculation of IMT-2000 Terrestrial Spectrum Requirements," March, 1999.
- [2] ITU-R M.1391, "Methodology for the Calculation of IMT-2000 Satellite Spectrum Requirements," March, 1999.
- [3] 이호우, "대기행렬 이론 확률과정론적 분석," 시그마프레스, 1998
- [4] K.S. Meier-Hellstern, and E.Alonso, "The Use of SS7 and GSM to Support High Density Personal Communications," ICC'92, pp.1698-1702, 1992.
- [5] M.H. Callendar, "Future Public Land Mobile Telecommunication Systems," IEEE Personal Communications, pp.18-22, 1994.
- [6] EIA/TIA/IS-95, "MS-BS Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System," July, 1993.

장 희 선(Hee-Seon Jang) 정회원



1990년: 울산대학교 산업공학과 졸업
 1992년: 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1998년~현재: 한국과학기술원 산업공학과 박사과정

1992년~1998년: 한국전자통신연구원 선임연구원
 1999년~현재: 천안외국어대학 컴퓨터정보과
 <주관심 분야> 이동통신시스템 성능분석

전 경 표(Kyung-Pyo Jun) 정회원



1976년 2월: 서울대학교 산업공학과 학사
 1979년 2월: 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1988년 8월: 미국 North Carolina State University Operations Research 전공 박사

1979년 3월~현재: 한국전자통신연구원 교환.전송기술연구소 통신시스템연구부장
 1985년 7월~1988년 5월: 미국 North Carolina State University 부설 Center for Communication and Signal Processing 연구원
 1993년 9월~1998년 8월: 충남대학교 통계학과 겸임교수
 <주관심 분야> 개방형 시스템, ATM 교환, IMT-2000, 지능망 기술, 광 인터넷 분야

조 기 성(Kee-Sung Cho) 정회원



1982년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사
 1984년 2월: 경북대학교 전자공학과 석사
 1984년 3월~현재: 한국전자통신연구원 교환.전송기술연구소 이동교환팀장

<주관심 분야> IMT-2000 핵심망 기술, 이동 인터넷 기술, 개방형 시스템, WATM 분야

임 석 구(Seog-Ku Lim) 정회원



1983년: 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
 1987년: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1999년: 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)

1987년~1992년: LG정보통신(주)
 1992년~1994년: 한국전자통신연구원,
 1994년~현재: 주성대학 멀티미디어정보통신공학부 부교수
 <주관심 분야> 시스템 성능분석, 트래픽 엔지니어링