

가상 셀룰라 망 구조 및 성능분석

正會員 金 華 鍾*, 鄭 元 泳*

Architecture and Performance of Virtual Cellular Network(VCN)

Hwa Jong Kim*, Won Young Jeong* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 무선 통신망의 주파수 이용률을 높일 수 있고 기존의 셀룰라 방식의 단점을 개선할 수 있는 새로운 셀룰라 통신 방식인 "가상 셀룰라 망 (Virtual Cellular Network : VCN)" 프로토콜을 제안하고 성능을 분석하였다. VCN에서는 기존의 셀룰라 통신망과 달리, 전체 주파수 대역을 모든 단말기가 같이 사용한다. 또한 단말기가 하나의 기지국 (base station)과 통신하도록 제한되지 않는다는 특징을 가지고 있으며 단말기 주변에 있는 임의의 포트(port)가 상방향 신호를 수신할 수 있도록 하여 기존 셀룰라 방식의 성능을 개선하였다. 포트에 수신된 패킷은 고정된 유선망을 통하여 포트서버(Port Server)로 전달된다. VCN의 포트의 기능은 전통적인 셀룰라망의 기지국의 기능에 비하여 단순하게 되며 포트의 위치선정과 설치가 매우 간편해진다. VCN은 또한 간단한 다중매체 액세스 프로토콜을 제공함으로써 단말기의 전력소비를 줄일 수 있고, 핸드오버 처리나 다중경로 페이딩에 대하여도 유리한 장점을 가지고 있다. 성능분석과 시뮬레이션을 통해 VCN은 간단한 구조를 가지면서도 높은 처리율을 갖는 것을 보였다.

Abstract

In this paper, a new cellular communication network architecture, ~Virtual Cellular Network' (VCN) is proposed in order to improve the performance of a conventional cellular network. Unlike in a conventional cellular network, in the VCN, each terminal sends packets using the entire system bandwidth and does not communicate with a single base station, there by, any ports near a terminal can pick up the signal when the receiving power is over threshold. The ports transport the received packets to the port server (PS) over a fixed (wireline) network. This simplifies the functions of a port, and the placement of ports will be easier than that in a conventional cellular network. Furthermore, in a VCN, power consumption at terminal can be reduced by simple multiple access protocol, and site diversity helps to combat multipath fading. Both our analysis and simulation show that this network has a larger user capacity than conventional cellular network.

* 강원대학교 전자공학과

Dept. of Electronics Eng. Kangwon National Univ.

論文番號 : 94328

接受日字 : 1994年 11月 22日

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

I. 서 론

최근 무선 통신망과 그 응용분야에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 통신망의 대표적인 응용분야로는 이동전화, 실내외 무선 데이터 통신망 그리고 멀티미디어 무선 컴퓨팅 기술 등이 있으며 특히 개인통신망 서비스가 이루어지면 하나의 휴대 단말기를 통하여 임의의 장소에서 전화 및 데이터 통신이 가능하게 된다.^{1, 2,3)} 그러나 무선 통신망은 많은 가입자를 수용하기 위하여 점차 높은 대역 이용률을 요구하고 있다. 즉 주어진 주파수 대역과 지역(area)에서 가능한 많은 사용자가 동시에 통신할 수 있는 방안이 필요하게 된다. 이를 위하여 셀룰라 통신 방식이 널리 사용되고 있으며 셀의 반경을 작게 하여 사용자 밀도를 높이는 방안이 검토되고 있으나 이는 다음과 같은 문제점을 해결해야 한다.

먼저 셀의 반경이 작아지면 핸드오버가 발생하는 빈도가 증가하게 되고 이를 처리하기 위한 신호가 많이 발생한다. 또한 작아진 셀의 모양에 따라 기지국(안테나)의 적절한 위치를 선정하는 것이 어려워진다. 더욱이 기지국간의 거리가 짧아지므로 간섭을 최소화하기 위하여 단말기의 위치에 따라 신호전력을 조절하는 기능이 필요하게 된다. 즉 셀의 크기를 작게 하여 단위면적당 주파수 이용률을 높일 수는 있으나 이를 실용화하기 위해서는 많은 기술적인 어려움이 따르게 된다.^{4,5)}

본 논문에서는 이와 같은 셀룰라 통신방식의 단점을 개선하기 위하여 새로운 통신 방식인 "가상 셀룰라 망(VCN) 프로토콜"을 제안하였다. VCN의 기본 개념은 무선채널의 통신 프로토콜을 가능한 한 단순화하여 대역 이용률을 향상시키고 이로 인하여 발생하는 트래픽 증가를, 기지국들을 연결하는 유선망에서 수용하겠다는 것이다. 이는 수백 Mbps 정도의 전송속도를 제공하는 고속 Local Area Network(LAN) 혹은 Metropolitan Area Network(MAN)을 무선통신망의 근간망으로 사용함으로써, 상대적으로 여유있는 유선망의 대역을 활용하여 무선망의 프로토콜을 단순화시키려는 것이다.⁶⁾

서론에 이어 2장에서는 가상 셀룰라 방식을 정의하고 3장에서는 VCN에서 사용될 수 있는 통신 프로토콜을 제안하였으며 4장에서는 VCN의 성능을 분석하였다. 성능을 예측하기 위하여 신호의 수신확률(probability of capture), 주파수대역 이용률 등을 분석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수치적인 결과와 비교하였다.

II. 가상 셀룰라 망 (VCN)

VCN은 기존의 셀룰라 통신 방식과 비교하여 다음의 두 가지 근본적인 차이점을 가지고 있다. 첫째로, 기존의 셀룰라 통신망에서 4 혹은 7 등의 주파수 재사용 패턴을 사용하는 것에 비하여 VCN에서는 상방향 채널에 배정된 전체 주파수 대역을 모든 단말기가 같이 사용한다는 것이다(즉, 주파수 재사용 factor=1). 이와 같이 각 단말기가 전체 시스템의 대역을 사용함으로써 주파수 재사용 방식을 사용하는 전통적인 방법에 비하여 패킷 전송시간을 줄이게 되어 단위면적당 트래픽 부하를 줄일 수 있다. 이렇게 하는 데에는 수신 포트에서 동시에 두 개 이상의 신호를 수신한 경우에 가장 강한 신호가 다른 간섭신호들의 합보다 일정한 배수 이상으로 강하면 그 신호를 오류 없이 수신(capture)할 수 있다는 가정이 필요하다.

공학적 측면에서 보면 각각의 터미널이 넓은 주파수 대역을 공동으로 이용하여 (고속으로) 패킷을 전송하는 것보다는 상방향 채널대역 BU를 다수의 (K) 부채널로 나누고 부채널을 랜덤하게 선택한 다음 대역폭이 $B = BU/K$ 인 각 부채널에서 다원점속 프로토콜을 적용하는 것이 유리하다. 이는 특히 채널의 coherence 대역을 BC 라고 할 때, $B \ll BC \ll BI$ 이면 효과적이다. 왜냐하면 수신포트에서 채널 동화를 할 필요가 없기 때문이며 ($B \ll BC$), 일종의 slow frequency hopping (SFH) 으로 인하여 채널 페이딩이 각 패킷 전송마다 독립적으로 되기 때문이다. 이렇게 함으로써 모든 단말기가 공정하게 패킷을 전송할 수 있도록 하고, 특정 주파수 범위에서 나쁜 채널 특성을 갖는 단말기가 연속하여 재전송을 시도하지 않도록 할 수 있다.

둘째로 기존의 셀룰라 통신망과 달리, 셀 중심부에 위치하여 단말기에게 채널을 배정하거나 핸드오버 등을 관리하는 기지국이 VCN에는 없으며, VCN에서는 기지국보다 기능이 단순한 수신용 포트의 배열을 사용한다. VCN내의 포트는 임의의 단말기가 전송하는 신호를 수신할 수 있으며 오류없이 혹은 오류가 적게 수신한 모든 패킷을 유선망을 통하여 포트서버로 보내게 된다. 이와 같이 포트의 배열을 사용함으로써 VCN은 기본적으로 위치(site) 다이버시티를 제공하며 따라서 다중경로 페이딩에도 강하게 되는 장점이 있다.

이와 같이 VCN은 동시에 둘 이상의 포트가 패킷을

수신할 수 있게 함으로써 많은 장점을 갖게 되나 최종 목적지에 들기 이상의 패킷이 도착할 수 있다는 문제를 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 포트서버를 두어 일정 지역에 속하는 포트들로부터 전송된 패킷들을 관리하고 어과기능을 수행하여야 한다.

그림 1에 VCN의 구조를 나타내었으며 3개의 단말기(1, 2, 3)가 동시에 패킷을 전송하는 경우의 가상셀들(3개)을 나타내었다. 포트(A, B, ..., J)는 위의 3개의 단말기들로부터 전송된 패킷을 받을 수 있는 포트들을 나타낸다. 가상셀은 그 경계가 미리 정해져 있지 않으며 이동 터미널에서 하나의 패킷을 전송하는 시간동안 일시적으로 생기는 것이라고 할 수 있다. 가상셀의 크기는 패킷을 전송하는 단말기를 중심으로 하여 신호를 수신할 수 있는 거리로 정해지는데 신호의 전력, 전파감쇠 형태, 그리고 잡음에 의하여 달라진다. 하나의 포트서버와 이것이 관리하는 모든 포트들은 유선망인 포트 네트워크로 연결되어 있다. 포트 네트워크는 버스구조 또는 성형구조를 가질 수 있으며 네트워크 영역 내에서 발생된 트래픽을 수용할 수 있는 충분한 대역폭을 갖고 있어야 한다.

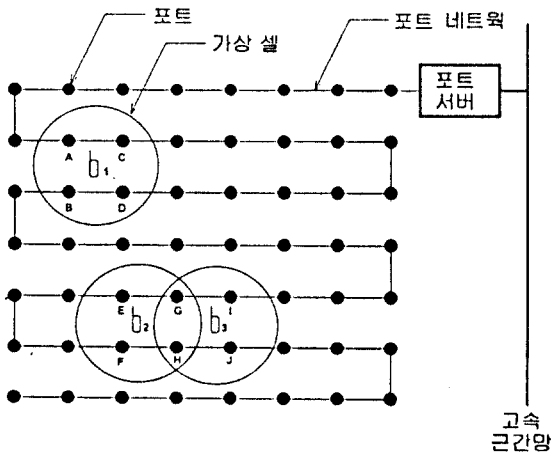


그림 1. VCN에서 한 슬롯시간 동안 3개의 단말기(1,2,3)가 패킷을 전송하는 경우의 가상셀(원)과 패킷을 수신하고 있는 포트(A, B, ..., J)

Fig 1. Virtual Cellular Network: Virtual cells(circle) for three simultaneous mobile(1,2,3) and active ports(A,B,...,J) during a slot time

III. 통신 프로토콜

VCN에서 필요한 통신 프로토콜은 단말기가 포트를 액세스하기 위해 필요한 무선 다원접속 프로토콜과 포트들이 포트 네트워크를 이용하기 위한 다원접속 프로토콜 그리고 포트서버에서 단말기로의 하향 프로토콜로 구성된다.

VCN의 상방향(단말기에서 포트방향) 채널에서 사용할 수 있는 다원접속 프로토콜로서 본 논문에서는 랜덤 액세스 프로토콜인 slotted ALOHA를 사용하였다. 랜덤 액세스 프로토콜의 장점은 단순성과 유연성이며 VCN은 이 장점을 충분히 활용할 수 있는 특징을 가지고 있다⁽⁷⁾. 먼저 각 단말기는 패킷을 slotted ALOHA 프로토콜에 따라 랜덤하게 전송한다. 단말기 주변에 있던 임의의 포트에 성공적으로 수신된 패킷은 모두 포트서버로 즉시 전달되고 포트서버는 Ack를 하향 채널을 통하여 단말기로 전송한다. 포트서버는 하나의 패킷을 받을 때마다 다음 요소들을 포함하고 있는 단말기-포트 테이블을 갱신한다.

mobile-id, input-port, signal-quality, received-time

그림 1에서 단말기 2와 3이 동시에 패킷을 전송했을 때 포트G와 H에서 수신된 신호들은 강한 간섭을 일으킬 것이다. 따라서 2와 3의 패킷들은 각각 E,F 혹은 I,J를 통해서 포트서버로 보내질 가능성이 크게 된다. 단말기의 한 패킷이 어떤 포트도 capture하지 못했을 때에는 Ack를 받지 못하게 되며 일정시간(backoff) 지연후 재전송을 시도한다.

한 단말기에서 전송된 패킷은 여러 포트를 통하여 (중복되어) 포트서버에 전달될 수 있는데, 포트서버는 이 중복된 패킷들 중에서 하나를 선택하여 최종 목적지로 보내는 기능을 가지고 있어야 한다. 이를 중복패킷 제거 프로토콜(duplication resolution protocol: DRP)이라고 하겠다. DRP에는 크게 두 가지 방법이 가능하다. 첫째 방법은 오류가 없는 패킷을 받은 후에 도착하는 모든 중복된 패킷을 무시하는 방법이다. 이 간단한 알고리즘은 포트 네트워크에서의 처리 지연을 최소화시킨다. 중복된 패킷들과 다음 그룹의 패킷들을 구별하기 위해서 modulo-M인 일련번호가 사용될 수 있으며 M의 크기는 포트 네트워크의 지연 특성에 따라 달라진다. 고속의 포트 네트워크에서는 M의 크기가 비교적 작게 될 것이다.

둘째 방법에서는, 모든 중복된 패킷을 일정 시간동안 수신하고 그 중에 오류율이 가장 적은 것, 예를 들면 Hamming distance가 가장 적은 것을 선택하여 복적지로 보내는 방법이다. 이 경우에 포트서버는 어느 포트를 통하여 가장 오류가 적은 패킷이 수신되었는지를 단말기-포트 테이블에 기록하여 두어 하향 전송시 단말기로 패킷을 전송할 최적의 포트를 선택하는데 사용할 수 있다.

하향 프로토콜에서도 VCN의 구조를 활용할 수 있다. 즉 네트워크에서 이동 단말기 방향으로 패킷을 전송하고자 할 때, 상방향 전송시 가장 좋은 특성을 나타냈던 하나의 포트를 이용할 수도 있고 혹은 주변의 몇 개의 포트를 통하여 멀티캐스트를 할 수도 있다.

포트 네트워크는 비스 혹은 성형구조를 갖는 고속 근거리 통신망으로 구성될 수 있으며 포트와 포트서버간의 트래픽 특성에 적합한 다원집속 프로토콜을 사용하여야 한다. 즉, 포트간의 데이터 교환은 항상 포트서버를 통하여 이루어지고 포트간의 직접적인 통신은 없으므로 이에 알맞는 효율적인 프로토콜을 선택할 수 있다.

IV. VCN의 성능 분석

본 논문에서는 VCN의 상방향 프로토콜의 성능만을 분석하였다. 단말기는 지역적으로 균일하게 분포한다고 가정하였고 패킷의 발생은 Poisson 분포를 따른다고 가정하였으며 Ack를 위한 하향 채널에서는 오류가 발생하지 않는다고 가정하였다. 먼저 포트를 4개만 가지고 있는 단순한 VCN에서 위치에 따른 수신확률을 수식으로 구한 후 이를 이용하여 포트가 일정한 간격으로 반복 배열되어 있는 VCN에서의 수신확률을 구하였다. 다음에 이를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

4.1 네트워크 모델

부신채널에서는 Rayleigh 페이딩 모델을 가정하였으며, 단말기와 임의의 포트와의 거리가 x 일 때 포트에서의 평균 수신 신호전력을 다음과 같이 Harley의 모델로 표현하였다.⁸⁾

$$S(x) = p x^{-2} (1 + \frac{x}{r})^{-2} \quad (1)$$

여기서 r 은 경로감쇠 모델의 turnover 거리이며 p 는 Rayleigh 페이딩에 의해 log-normal 분포를 갖는 전력의 변화를 나타내는 랜덤변수이다.

패킷이 포트에 성공적으로 수신되는 조건으로는 예를 들어 포트 A에 수신된 단말기 k 로부터의 평균 신호 전력 $S_{A,k}$ 가 다음의 조건을 만족하면 단말기 k 의 신호가 포트 A에 성공적으로 수신되었다고 가정하였다.

$$S_{A,k} > z \sum_{m=1}^N S_{A,m} \quad (2)$$

여기서 z 는 한 신호가 안테나를 capture하기 위한 임계치이고 N 은 단말기 k 가 패킷을 전송 중인 같은 슬롯시간내에 간섭신호를 발생하는 VCN내의 모든 단말기의 숫자이다.

4.2 수신확률(probability of capture)

먼저 4개의 포트가 정방형으로 위치하는 경우의 수신확률(probability of capture)을 구하였고 넓은 지역의 VCN의 수신확률은 포트가 일정간격으로 반복 배열되어 있다는 가정하에 위에서 구한 (4개 포트의) 수신확률을 이용하여 구하였다.

위치 x_i 에서 단위면적당 발생하는 총 트래픽(offered traffic) 밀도 (처음 전송되는 패킷과 재전송되는 패킷의 합)를 $G(x_i)$ 라고 하면 단말기 j 가 4개의 포트 (A,B,C 혹은 D) 중 적어도 하나 이상의 포트에 수신될 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.⁹⁾

$$\begin{aligned} \Pr(A_i \cup B_i \cup C_i \cup D_i | x_i) = & \exp\left\{-\int_{area} W_{A,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & + \exp\left\{-\int_{area} W_{B,i} G(x_i) dx_i\right\} + \exp\left\{-\int_{area} W_{C,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & + \exp\left\{-\int_{area} W_{D,i} G(x_i) dx_i\right\} - \exp\left\{-\int_{area} W_{A,B,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & - \exp\left\{-\int_{area} W_{A,C,i} G(x_i) dx_i\right\} - \exp\left\{-\int_{area} W_{A,D,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & - \exp\left\{-\int_{area} W_{B,C,i} G(x_i) dx_i\right\} - \exp\left\{-\int_{area} W_{B,D,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & - \exp\left\{-\int_{area} W_{C,D,i} G(x_i) dx_i\right\} + \exp\left\{-\int_{area} W_{A,B,C,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & + \exp\left\{-\int_{area} W_{A,B,D,i} G(x_i) dx_i\right\} + \exp\left\{-\int_{area} W_{A,C,D,i} G(x_i) dx_i\right\} \\ & + \exp\left\{-\int_{area} W_{B,C,D,i} G(x_i) dx_i\right\} - \exp\left\{-\int_{area} W_{A,B,C,D,i} G(x_i) dx_i\right\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 A_j, B_j, C_j 그리고 D_j 는 각각 단말기 j 가 포트 A, B, C 그리고 D에 성공적으로 수신되는 사건을 나타내며, x_i 는 단말기 j 의 위치를 나타낸다. $W_{A,i}$ 는 가중합수로서 다음과 같이 정의되며 $W_{B,i}, W_{C,i}, W_{D,i}$ 도 같은 형태로 정의된다.

$$W_{A,i} = \frac{zS_{A,i}}{zS_{A,i} + S_{A,i}} \quad (4)$$

여기서 $S_{A,j}$ 는 포트 A에서 측정된, 단말기 j 가 송신한 신호의 평균 전력이며 $S_{A,i}$ 는 위치 x_i 에 있는 단말기 i 로부터의 간섭신호 전력을 나타낸다. 식 (3)의 여러가지 가중 함수는 다음과 같은 형태로 정의된다.

$$W_{A,B,i} = W_{A,i} + W_{B,i} - W_{A,i}W_{B,i} \quad (5)$$

$$W_{A,B,C,i} = W_{C,i} + W_{A,B,i} - W_{A,B,i}W_{C,i} \quad (6)$$

$$W_{A,B,C,D,i} = W_{D,i} + W_{A,B,C,i} - W_{A,B,C,i}W_{D,i} \quad (7)$$

식 (3)에서 채널 잡음은 간섭신호에 비해 작으며 총 트래픽 $G(x_i)$ 은 알고 있다고 가정하였다. 한 패킷이 성공적으로 수신될 때까지 단말기가 위치를 바꾸지 않는다면 (즉 재전송기간 동안에 단말기의 위치가 이동하지 않는다고 하면) 단말기 j 의 위치 x_i 에서의 입력 트래픽 밀도는 VCN전체의 입력 트래픽 밀도 S_0 [패킷/슬롯시간/단위면적]와 같으며, 위치 x_i 의 총트래픽 밀도는 다음과 같이 패킷이 성공적으로 수신될 확률 (식 (3))로 표현된다.

$$G(x_i) = \frac{S_0}{Pr(A_j|UB_j|UC_j|UD_j|x_i, G_k(x_i))} \quad (8)$$

위의 식 (8)에서 $G(x_i)$ 가 양면에 나타나므로 반복계산 (iteration)으로 $G(x_i)$ 를 구할 수 있다. $G(x_i)$ 의 $(k+1)$ 번째 근사값은 아래의 식으로부터 계산되며 초기치는 $G(x_i)=S_0$ 로 두었다.

$$G_{k+1}(x_i) = \frac{S_0}{Pr(A_j|UB_j|UC_j|UD_j|x_i, G_k(x_i))} \quad (9)$$

만일 S_0 가 VCN에서 수용할 수 있는 최대의 처리율

이하라면 (즉, 발산하지 않으면) $G(x_i)$ 은 수렴하게 된다.

식 (9)에서 구한, 포트가 4개만 있는 경우의 인가트래픽이 평면상에 무한히 반복되고 있다고 가정하여 포트가 4개 이상으로 많이 있는 경우의 수신확률을 구하였다. 즉, 상당히 먼거리로부터 오는 간섭신호를 모두 고려하였다. 포트가 정방형으로 배열되어 있는 VCN의 수신확률을 그림 2에 나타냈으며 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 2와 3에서는 편의상 3×3 단위크기의 평면만을 도시하였다. 그림 4에는 총 트래픽 밀도 $G(x_i)$ 를 보였다. 그림 2,3,4에서 포트간의 간격은 1로 정규화하였다. 그림 2와 3에서 수신확률은 포트 부근에서는 1에 가깝게 매우 높고 포트에서 멀리 떨어진 곳일수록 낮아짐을 알 수 있으며 그림 4에서 총 트래픽 밀도는 포트 부근에서는 입력 트래픽 밀도와 거의 같고 포트에서 멀리 떨어진 곳일수록 재전송이 많아짐으로 인하여 높아짐을 알 수 있다.

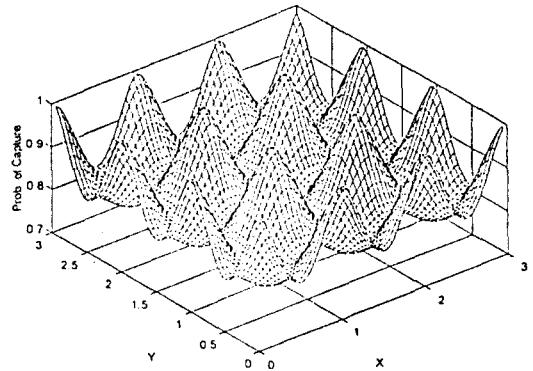


그림 2. 수치적으로 구한 VCN의 수신확률($z=6dB, r=0.5, 12$ [패킷/ 슬롯/ 단위면적])
Fig 2. Calculated probability of capture of a VCN ($z=6dB, 5, S_0=0.12$ [packets/ slot/ unit area])

4.3 처리율

그림 5에 입력 트래픽 밀도 S_0 의 변화에 대한 $G(x)$ 의 평균치를 나타냈다. 여기서 $z=6dB$ 를 사용하였으며 $r=0, 1, 0.5, 1$ 그리고 1.5인 경우를 비교하였다. 사용 가능한 S_0 의 최대치, 즉 최대 처리율은 $G(x)$ 가 수렴하는 S_0 중에서 최대치를 찾음으로써 얻을 수 있다. r 이 작

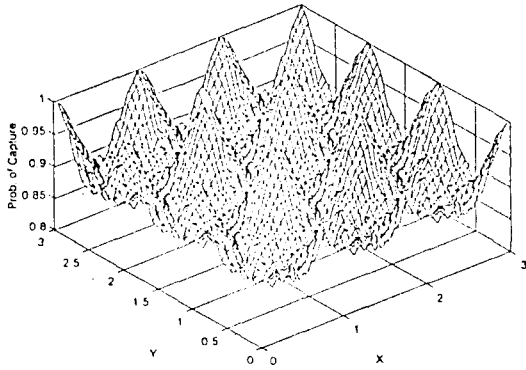


그림 3. 실험적으로 구한 VCN의 수신 확률($z=6\text{dB}$, $r=0.5$, 12 [패킷/ 슬롯/ 단위면적])

Fig 2. Simulated probability of capture of a VCN ($z=6\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.12$ [packets/ slot/ unit area])

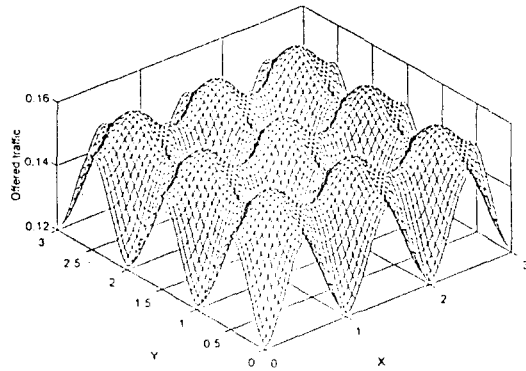


그림 4. 수치적으로 구한 VCN의 총트래픽 ($z=6\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.12$ [패킷/ 슬롯/ 단위면적])

Fig 4. Calculated offered traffic of a VCN ($z=6\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.12$ [packets/ slot/ unit area])

을 경우에는 전력이 대부분의 지역에서 거리의 4승에 반비례하여 감소하므로 높은 처리율을 갖는 반면 r 의 값이 큰 경우에는 간섭신호의 전력이 (거리의 2승에 반비례하여) 넓은 지역에 영향을 주므로 처리율이 떨어진다. r 이 무한대, 즉 간섭신호의 전력이 항상 거리의 자승에 반비례하면 전 평면에 존재하는 간섭신호의 합(적분치)은 무한대가 되어 이론적으로는 수신확률은 0이 되고 처리율도 따라서 0이 된다.

한 신호가 안테나를 capture하기 위한 임계치인 z 가 각각 6dB 와 10dB인 경우에 경로감쇠모델의 turnover

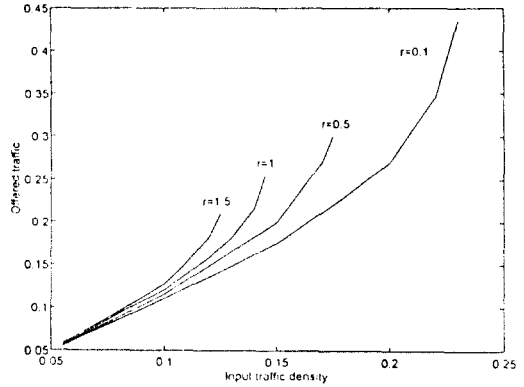


그림 5. 입력 트래픽 S_0 (처리율)에 대한 평균 총트래픽 ($z=6\text{dB}$)

Fig 5. Mean value of calculated offered traffic versus input traffic density ($z=6\text{dB}$)

거리 r 의 변화에 따른 VCN의 처리율을 표 1과 2에 나타냈다. 포트들의 중간지역 즉, 가장 수신확률이 나쁜 지역의 수신확률을 그림 6에 보였으며 $z=10\text{dB}$ 이고 $S_0=0.08$ 인 경우의 수신확률의 계산치, 실험치, 총 트래픽의 위치에 따른 값을 그림 7, 8, 9에 각각 나타냈으며 그림 10에는 입력 트래픽 밀도 S_0 의 변화에 대한 총 트래픽 $G(x)$ 의 평균치를 나타냈다. 여기서 VCN의 처리율이 0.1이라는 것의 의미는 단위면적 즉 하나의 포트가 관장하는 면적에서 전체 시스템 주파수 대역에 대한 처리율이 0.1이라는 것을 말하며 이것은 전통적인 7주파수 재사용 방식의 셀룰라망에서의 처리율 0.7과 상응한다고 할 수 있다.

표 1. VCN의 처리율 ($z=6\text{dB}$)
Table 1. Throughput of VCN ($z=6\text{dB}$)

r	S_0 최대치
0.1	0.23
0.5	0.175
1.0	0.145
1.5	0.125
∞	0.

표 2. VCN의 처리율 ($z=10\text{dB}$)
Table 2. Throughput of VCN ($z=10\text{dB}$)

r	S_0 최대치
0.1	0.14
0.5	0.1
1.0	0.08
1.5	0.07
∞	0.

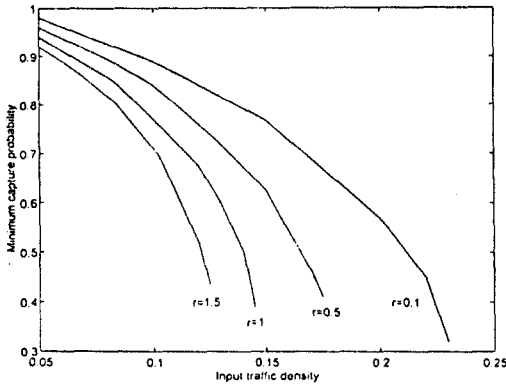


그림 6. 입력 트래픽 S_0 (처리율)에 대한 수신확률의 최소값 ($z=6\text{dB}$)

Fig 6. Minimum value of the probability of capture versus input traffic ($z=6\text{dB}$)

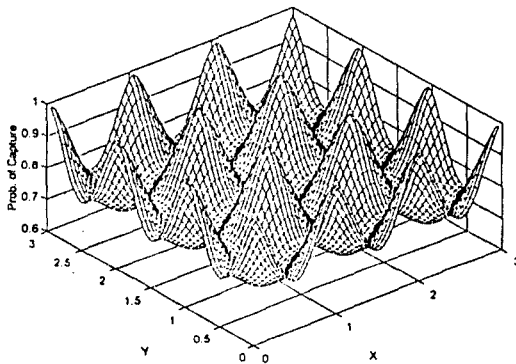


그림 7. 수치적으로 구한 VCN의 수신확률 ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [패킷/ 슬롯/ 단위면적])

Fig 7. Calculated probability of capture of a VCN ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [packets/ slot/ unit area])

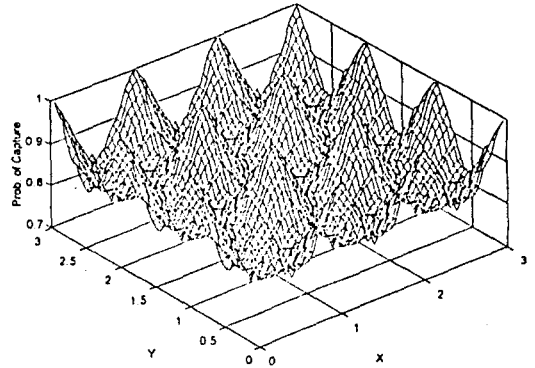


그림 8. 실험적으로 구한 VCN의 수신확률 ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [패킷/ 슬롯/ 단위면적])

Fig 8. Simulated probability of capture of a VCN ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [packets/ slot/ unit area])

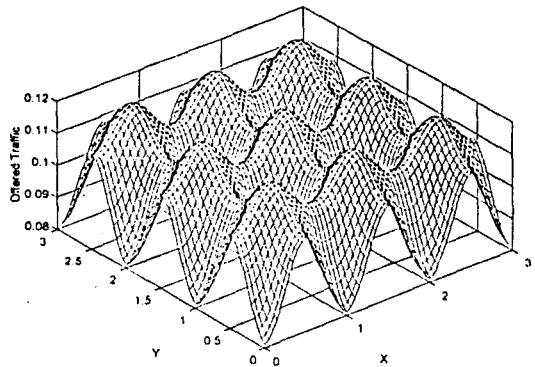


그림 9. 수치적으로 구한 VCN의 총트래픽 ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [패킷/ 슬롯/ 단위면적])

Fig 9. Calculated offered traffic of a VCN ($z=10\text{dB}$, $r=0.5$, $S_0=0.08$ [packets/ slot/ unit area])

주파수 재사용 패턴을 사용하는 전통적인 셀룰라 통신망과 VCN을 비교하기 위하여 VCN의 인접한 두 포트 간의 거리와 셀룰라 통신망의 두 기지국 사이의 거리가 같다고 가정하였다(즉, $r=0.5$). 전통적인 셀룰라 통신망에서 7개의 주파수 재사용 패턴을 사용한다면, 각각의 셀에서 최대의 처리율 ($S_0=1$)을 갖는다고 가정하여도 전체 주파수 대역에 대한 시스템 처리율은 $1/7=0.143$ 을 넘을 수가 없다. $r=0.5$ 인 경우의 처리율을 보면

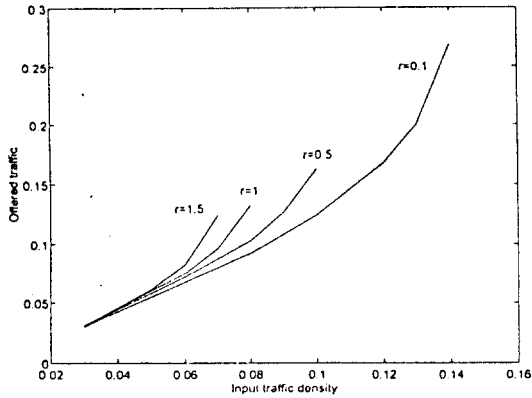


그림 10. 입력 트래픽 S_0 (처리율)에 대한 평균 총트래픽 ($z=10\text{dB}$)

Fig 10. Mean value of calculated offered traffic versus input traffic density ($z=10\text{dB}$)

$z=6\text{dB}$ 일 때 0.175이고 $z=10\text{dB}$ 일 때 0.1이다. 이것은 VCN이 연속적인(continuous) 신호의 통신에 대해서도 전통적인 셀룰라 통신망 정도의 스펙트럼 효율을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 불연속 음성 신호의 전송이나 보다 bursty한 멀티미디어 트래픽의 경우에 대해서도 VCN은 그림 5와 같은 처리율을 얻을 수 있다.

다음은 포트의 수를 증가시킬 때의 처리율 증가에 대해서 알아보겠다. 만약 $r=0.5$ 인 VCN에서 단위면적당 포트의 수를 4배 증가시키면 효과적인 r 은 1로 된다. 따라서 새로운 최대 처리율은, $z=6\text{dB}$ 인 경우, $4 \times 0.145=0.58$ 이 되며 처리율은 $0.58/0.175=3.31$ 배 증가하게 된다. $z=10\text{dB}$ 인 경우는 최대 처리율이 $4 \times 0.08=0.32$ 이 되며 처리율은 $0.32/0.1=3.2$ 배 증가한다. 즉, 포트를 늘릴 경우 처리율은 이에 비례해서 높아짐을 알 수 있다. 전통적인 셀룰라 통신망도 기지국 수가 증가하면 셀 반경이 작아져서 처리율이 증가하게 되나 빈번해지는 핸드오버와 이를 처리하기 위한 제어 신호가 많이 발생하여 트래픽이 증가하게 된다. 그러나 핸드오버가 필요없는 VCN에서는 포트수의 증가에 따른 무선망에서 부가적인 트래픽이 발생하지 않으므로 전통적인 셀룰라 통신망보다 무선망의 처리율이 더 높일 수 있다.

V. VCN의 특성

증가된 사용자 용량

기존의 셀룰라 통신 방식에서는, 이상적인 MAC 프로토콜을 사용하여 각각의 셀에서 최대의 처리율을 갖는다고 가정하여도 전체 주파수 대역에 대한 시스템 처리율은 $1/N$ (여기서 N 은 주파수 재사용 수)을 넘을 수가 없다. 셀룰라 방식에서의 처리율을 근본적으로 높이기 위해서는 N 이 매우 작아야 하며 이상적으로는 1이 되어야 한다. 즉 모든 단말기가 할당된 전체 주파수 대역을 사용하여야 한다. 더우기 단말기는 전체 처리율을 최대화하기 위하여 균등하게 분포되어 있어야 한다. 그러나 실제로, 단말기들은 고르게 분포해 있기 보다는 특정지역에 집중되어 있게 될 때가 많다. 그러므로 기존의 셀룰라 시스템에서는 셀의 크기와 경계가 평균 트래픽을 기준으로 하여 정해지더라도, 처리율은 단말기들의 일시적인 분포의 변화에 따라 나빠질 수 있다. 그러나 VCN에서는 모든 단말기가 전체 주파수 대역을 사용 주파수 대역이 미리 $1/N$ 로 제한되어 있지 않기 때문에 단말기들의 일시적인 분포 변화에 대해서 기존의 방식보다 더 높은 처리율을 제공할 수 있다.

포트위치선정의 용이성

마이크로 셀룰라 시스템에서는 셀 크기가 작아질 때, 셀의 불규칙한 모양으로 인해 기지국의 위치선정이 어려워진다. 특히 실내 무선통신일 때는 더욱 그러하다. 더우기 셀이 작아짐에 따라 추가로 설치되는 기지국들 사이에는 복잡한 상호작용문제가 존재한다. 그러나 VCN에서는 셀의 경계가 정해져 있지 않고 단말기들은 가상 셀내의 어떤 포트와도 통신을 하기 때문에 자유롭게 포트의 위치를 선정할 수 있다.

단순한 핸드오버

사용자 용량을 늘리기 위해서 사용되는 마이크로 또는 피코 셀룰라 시스템은 핸드오버와 제어신호가 증가하게 되는 문제를 가지고 있다. 그러나 VCN에서는 단말기가 셀의 경계를 지나간다는 개념이 없으므로 핸드오버가 없다. 그러나 단말기가 다른 VCN(즉, 다른 포트

서버가 관리하는 지역)으로 이동할 때에는 일종의 '광역 핸드오버'가 발생하며 이를 처리하기 위해서는 포트 서버간의 신호방식이 필요하다. 이러한 '광역 핸드오버'는 인접한 VCN간의 경계를 적절히 선택함으로써(예를 들면 단말기의 이동이 적은 지역을 경계로 선택) 최소화시킬 수 있다.

VCN의 단점

VCN에서는 하나의 단말기에서 전송된 패킷이 여러 포트에 수신될 수 있으므로 포트 네트워크는 다수의 중복된 패킷을 처리하여야 한다. 이와 같이 포트 네트워크의 상방향 트래픽 증가로 인하여 처리율이 떨어지게 되는 단점이 있으나 포트 네트워크의 목적이 오직 무선채널의 트래픽을 처리하기 위한 것이라면 고속 LAN이나 ATM LAN등을 이용하여 전체 무선망의 처리율을 높이는 것이 망설치 비용이나 운영의 관점에서도 유리하게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 VCN의 개념을 정의하고 그 성능을 수신확률과 처리율을 통하여 연구하였다. 수신확률 분석과 시뮬레이션을 통하여 알아본 바와 같이 포트에 수신된 신호들 중에서 한 신호의 전력이 다른 신호들의 합보다 임계치 이상 큰 전력을 가지면 성공적으로 패킷을 수신한다는 가정하에 VCN은 매우 높은 처리율을 보였으며 이는 공학적으로 실현 가능한 가정으로 생각된다. VCN의 다른 장점은 단말기 통신 프로토콜의 단순화로 전력소비의 감소가 가능하고, 포트들의 설치가 기존 셀룰라 시스템의 기지국 설치에 비하여 쉬우며, 위치(site) 다이버시티로 인하여 다중경로 페이딩에 유리하다는 것 등이다. 특히 포트를 더 많이 설치하면 시스템이 크게 복잡하여지지 않고도 처리율을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 기존의 셀룰라 시스템에서는 기지국의 수를 많게 하면 이에 비례하여 시스템이 매우 복잡해

지고 제어신호도 많이 발생하는 문제가 있었다.

참고문헌

1. William C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunications System, McGRAW-HILL, 1990.
2. R.Steele, "The Evolution of Personal Communications," IEEE Personal Communications, Vol. 1, No.2, pp.6-11, 1994.
3. S. Sheng, A. Chandraksan and R.W. Broderson, "A future portable multimedial terminal," IEEE Commun. Magazine, Vol. 30, No.12, pp.64-75, Dec. 1992.
4. 홍대형, "개인 휴대 통신을 위한 RF망 구성 기술," 텔레콤, 9권 2호, pp. 9-15, Dec. 1993.
5. L. Greenstein, et al., "Microcells in Personal Communication System," IEEE Commun. Magazine, pp. 76-88, Dec. 1992.
6. 김화중, "가상 셀룰라 통신망의 성능 분석," Proceeding of JCCI '94, pp. 541-545, April 28. 1994.
7. J. C. Arnbak, "The European (R)evolution of wireless digital networks", IEEE Commun. Magazine, pp. 74-82, Sept. 1993.
8. H. Harley, "Short distance attenuation measurements at 900 MHz and 1.8 GHz using low antenna heights for microcells," IEEE J. Sel. Areas in Commun., Vol. JSAC-7, No.1, pp.5-10, 1989
9. J.P.M.G. Linnartz, "Slotted ALOHA land-terminal radio networks with site diversity," IEEE Proceeding I, Vol. 139, No.1 pp.58-70, Feb. 1992.



金華鍾(Hwa Jong Kim)정회원

1982년 2월 : 서울대학교 공과대학
전자공학과 (학사)

1984년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (석사)

1988년 8월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (박사)

1988년 3월~현재 : 강원대학교 공과대학 전자공학과 부교
수

1992년 12월~1993년 12월 : 미국 버클리 대학교 교환교수

※주관심분야 : B-ISDN, 무선LAN, 개인통신



鄭元泳(Won Young Jeong)정회원

1990년 2월 : 강원대학교 공과대학
전자공학과 (학사)

1995년 8월 : 강원대학교 공과대학
전자공학과 (석사 학위
취득 예정)

※주관심분야 : 무선LAN, 개인통신