블루투스 기반 이동 Home Network의 성능 분석

Performance Analysis of Mobile Home Network Based on Bluetooth

박홍성, 정명순 • 강원대학교 전기전자정보통신공학부
Hong Seong Park, Myoung Soon Jeong

Abstract

This paper analyzes performance measures of a Bluetooth-based mobile home network system. The home network system consists of terminals with Bluetooth interfaces, access points (AP), a home PC, and a gateway. A mobile host in wireless terminals uses Mobile IP for supporting the mobility. This paper considers four types of data traffic, which are new connection traffic, handoff traffic, Internet data traffic, and control data traffic and suggests a queueing system model of the home network system, where the AP and the home PC are modeled as M/G/1 with four priority queues and the gateway is modeled as M/G/1 with a single queue. The generation rate and service time of individual traffic influence their performance measures. Based on the suggested model, we propose the elapsed time of data traffic in terms of the number of cells, the number of Home PCs, arrival rates of four types of traffic and the service rates of AP/Home PCs/Gateway. To analyze influences on the elapsed time with respect to arrival rate of four types of traffic, some examples are given.

Ⅰ. 서론

CEA-HINT(Consumer Electronics Association-Home Networking and IT division)에서는 홈 네트워크 을 가전 기기와 여러 시스템 사이에 상호 접속과 이를 통한 원격 접근 및 제어 기능으로 음악, 비디오, 데이터 등의 다양한 컨텐츠를 위한 전송 서비스를 제공하는 네트워크로 정의하고 있다.

홈 네트워크의 정의로부터 구축에 필요한 기술적 요소를 정리해보면 접속(connections), 접근(access), 제어(control) 등이다. 이중에서 접속은 기기와 시스템 사이에 상호 운영에 반드시 필요한 것으로 이를 통하여 컨텐츠를 제공받는 사용자는 기기와 분산 저장된 컨텐츠에 대한 접근 및 제어 능력을 가지게 된다.

특히 접속 분야는 값싼 기존의 유선 통신 기술

을 그대로 이용할 수 있기 때문에 홈 네트워크가 확산되는데 가장 크게 기여할 수 있다. 최근에는 다양한 광대역 홈 네트워킹의 사용이 제안되고 현실화되고 있다. 광대역 홈 네트워크는 다양한 물리적 매체에서 동작할 수 있는 것으로 가정의 내벽에 새로운 케이블을 설치하여 사용하는 것이 가장 일반적인 형태이다. 다음으로는 가정의 내벽에 내장된 전화선이나 동축 케이블을 사용하는 것과 무선 매체가 있다.

무선은 유선 네트워크에 비하여 케이블 설치 및 내장 등을 위한 비용이나 유지 관리에 필요한 비용이 적기 때문에 주목을 받는 전송 매체로 IEEE 802.11[1], HomeRF[2], Bluetooth[3], HiperLAN[4], Ultra wideband[5] 등의 다양한 통신 프로토콜을 사용할 수 있다.

다양한 무선 프로토콜의 사용 가능성은 홈 네트워크의 확산에도 많은 기여를 했지만 기존의 이동 전화망에서 IMT-2000를 통한 음성뿐 아니라 멀티미디어의 이동 전송 서비스의 상용화가 본격적으로 이루어지면서 홈 네트워크 상에서도 동일한 이동 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 하지만 현재까지 무선 홈 네트워킹에 사용이 제안된 무선 인터페이스 프로토콜들 중에서 적절한 이동성 방안을 제공하거나 정의하고 있는 것은 없기 때문에 무선 홈 네트워크에 이동성을 제공하기 위해서는 적절한 이동성 지원 방안이 제안되어야 한다.

본 논문에서는 무선 인터페이스로 블루투스를 사용하고 Mobile IP[6]로 이동성을 지원한 홈 네트워크를 블루투스 기반 이동 홈 네트워크이라 정의하고 효율적인 이동성 지원을 위하여 네트워크 시스템의 성능을 해석하였다.

무선 단말기에 이동성을 지원하기 위하여 필요한 핸드오프의 발생 시점은 MH가 사용자 데이터의 송수신을 종료하고 다음 데이터의 송수신을 기다리는 때나 데이터를 송수신하는 중간일 수 있다. 후자의 경우에 핸드오프의 처리 시간이 길어지면 데이터 송수신 중인 MH 사이의 세션(session)이 단절되어 전송 중인 데이터가 손실될 수 있다.

인터넷에서 세션의 단절은 TCP의 타임 아웃 타이머(Timeout timer)가 결정되는데 인터넷에 접속하여 서비스를 받는 MH는 데이터를 전송한 후에 해당 타이머에 설정된 시간 내에 통신 상대로부터 응답을 받지 못하면 세션이 끊어진 것으로 인지하여 송수신을 종료하게 된다. 이러한 세션 끊김의 원인에는 무선 네트워크의 잡음으로 인한 데이터 오류나 해당 네트워크의 용량을 초과하는 부하가 원인이 된다. 특히 네트워크 용량의 초과는 핸드오프 데이터의 처리 지연을 증가시키고 이로 인한 세션의 중단을 초래하게 된다.

한편, IEEE 802.11, HomeRF, Bluetooth, HiperLAN, Ultra wideband 등과 같은 무선 홈 네트워킹을 위한 통신 프로토콜들은 근거리 무선 인터페이스를 제공하는 것으로 기존의 이동 전화망과 달리 셀의 반경이 작아 동일한 영역을 커버하는데 더 많은 셀이 필요하다.

이러한 작은 셀 반경은 빈번한 핸드오프가 일어나게 하고 이를 처리하기 위한 핸드오프 데이터의 증가로 인한 네트워크 부하와 데이터 처리 지연을 증가시킨다. 특히 네트워크 상의 부하로 인한 처리 지연의 증가는 데이터의 송수신 중에 세션을 단절시킬 수 있다. 세션을 단절시키는 원인에는 잡음, 간섭 등과 같은 열악한 무선 채널의 특성과 무선 가입자 망에서 유선 망으로 유입되는 다량의 데이터, 다양한 데이터의 송수신을 담당하는 전송 경로 상의 시스템에서 발생하는 처리 지연 등이다.

이러한 문제를 극복하기 위한 연구는 상당히

이루어져 있고 현재도 진행 중이지만 대부분의 연구는 앞의 두 가지 문제의 해결에 초점을 맞추고 있다[7-10]. [11]-[13]은 이동 전화망의 성능 분석을 새로운 연결 요구 데이터와 핸드오프 데이터만을 대상으로 한 것이다. 이러한 연구는 무선 링크의 효율만을 대상으로 한 것으로 전체 시스템의 효율성을 고려하지 않은 문제가 있다.

셀룰라 망에서와 같이 일종의 회선 방식으로 호를 연결하는 경우에 서비스의 종료나 핸드오프가 발생할 때까지 계속하여 해당 채널이 점유하고 음성 데이터를 전송하기 때문에 적합하다. 하지만 패킷 단위로 전송이 이루어지는 대부분의 데이터 네트워크에서는 데이터 처리 시간, 데이터 전송을 위한 채널의 설정, 핸드오프 처리 후의 데이터 발생 빈도가 다르기 때문에 부적합하다. 또한 핸드오프 데이터나 신규 연결 요구 데이터를 전송하는데 사용하는 무선 채널을 AP로부터 할당 받은 경우에도 FA로부터 이에 대한 응답을 받기 전에는 사용할 수 없다. 따라서, 데이터 네트워크의 성능 분석에 기존의 이동 전화망을 위한 방법을 사용하는 것은 부적합하다.

본 논문에서는 전체 망과 데이터의 지연 시간 관점에서 블루투스 기반 이동 홈 네트워크의 성능 해석을 수행하였다. 이를 위하여 본 논문에서는 홈 네트워크에서 송수신되는 트래픽의 종류를 핸드오프 데이터, 신규 연결 요구 데이터, 사용자 인터넷 데이터, 사용자 제어 데이터 등으로 구분하였다.

이러한 데이터 구분은 무선 데이터 망에서 셀 내의 트래픽이 이동 호스트(MH : Mobile Host)를 포함한 무선 기기가 무선 망에 접속을 초기화할 때 사용하는 연결 요구 데이터, MH의 이동성을 지원하기 위한 핸드오프 데이터, 무선 기기에 의하여 송수신되는 사용자 데이터 등에 기인하기 때문이다.

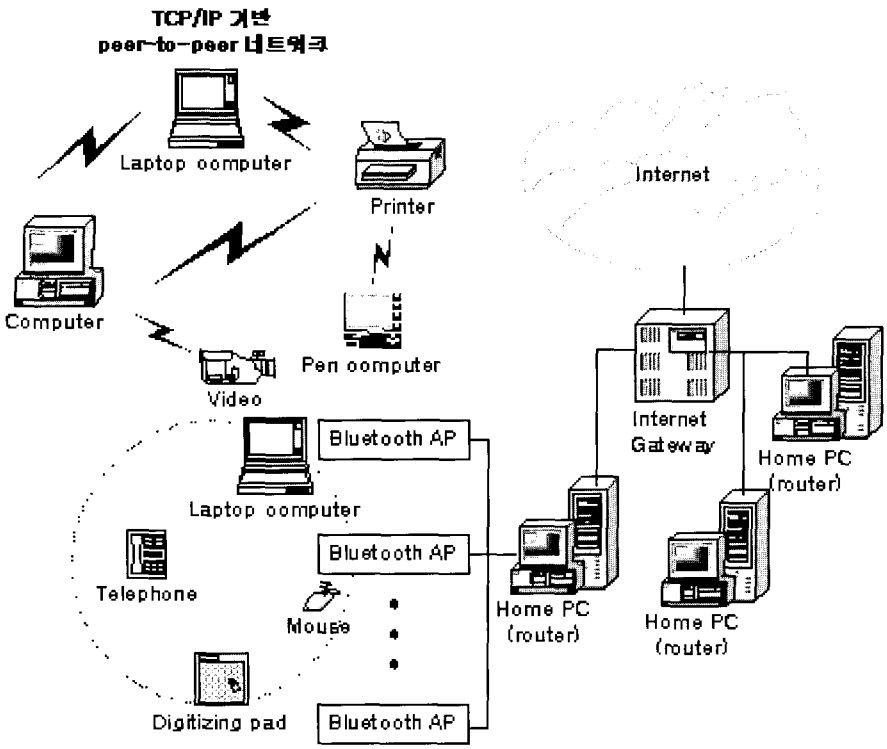
이들 중 사용자 데이터는 인터넷 사용을 위한 인터넷 정보 데이터와 가전 기기를 사용하는데 필요한 제어 데이터로 다시 구분할 수 있다. 블루투스 기반 이동 홈 네트워크는 MH를 포함하는 무선 단말기, AP, 홈 PC, 게이트웨이 등으로 구성되는 것으로 하였다.

성능 해석에 사용한 시스템 모델은 AP 및 홈 PC를 네 종류의 트래픽을 처리하기 위한 우선순위 큐를 사용하는 것으로 하고 이를 M/G/1으로 모델링하고 게이트웨이에는 한 개의 큐만이 있는 것으로 모델링하였다. 각 기기에 입력되는 데이터 별 도착율을 구하고 이를 기초로 각 기기의 큐잉 시간을 구하였다. 무선 기기로부터 나오는 트래픽의 요구 시간으로부터 그 응답을 받을 때까지 소요되는 시간을 셀의 개수, 개별 데이터의 발생 빈도, 각 기기의 서비스 시간 등의 항으로 구하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 블루투스 기반 이동 홈 네트워크의 구조를 보이고 mobile IP가 사용된 이동성 지원 방안을 설명하고, 각 데이터 트래픽의 동작을 설명하였다. 3장에서는 우선 순위 큐를 가진 M/G/1 모델을 적용한 큐잉 시스템 모델과 지연 시간 등의 성능 지표를 구한다. 4장에서는 3장에서 구한 성능 지표에 주어진 홈 네트워크 시스템의 매개변수를 이용한 성능해석으로 트래픽이 네트워크 성능에 미치는 영향을 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 모델

블루투스 기반 이동 홈 네트워크 구조를 그림 1에 보였다. 그림 1에서 홈 PC는 여러 개의 블루투스 AP(Access Point)에 접속된 가정 내의 기



〈그림 1〉 블루투스 기반 이동 홈 네트워크 구성도

기를 관리하면서 동시에 인터넷 서비스를 위한 라우터 기능을 수행한다. 다음으로 이동 단말기는 AP에 접속하여 무선으로 홈 PC나 인터넷 상의 기기로부터 데이터 전송 서비스를 받는 랩탑 컴퓨터, VoIP 전화기, 가전기기 등의 기기이다. 본 논문에서는 이동 단말기를 MH(Mobile Host)라 하고 MH에 이동성을 지원하기 위한 방법은 이동성은 Mobile IP가 사용되는 것으로 하였다.

Mobile IP에서는 MH의 FA(Foreign Agent)가 변경되면 새로운 FA에서 할당해준 COA(care-of-address)를 임시 IP 주소로 사용하여 라우팅 에이전트인 FA/HA(Home Agent)에 등록하여 인터넷 상의 서버로부터 오는 데이터를 정확하게 MH로 전달하도록 한다. 하지만 한 에이전트 내에서 MH가 연결된 AP가 바뀌면(혹은 핸드오프하면) Mobile IP에서는 에이전트에 MH가 연결된 새로운 AP를 등록해야 한다. MH는 IP 주소를 소유하지 않고 있다가 신규 연결을 요구하면서 HA로부터 IP를 할당 받는다. 또한 HA는 DHCP 기능을 지원하면서 이동성 바인딩 리스트(mobility binding list)를 관리한다. 반면에 FA는 방문자 리스트(Visitor list)를 관리한다.

홈 네트워크에서는 이동성을 지원하는 에이전트의 위치에 따라 비용 및 보안의 문제가 다르게 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이웃집 사이에 또는 가정 내와 외부 네트워크 사이의 이동성은 지원하지 않는다고 가정하였다. 에이전트의 위치는 AP, 홈 PC, 인터넷 게이트웨이 등이 될 수 있다.

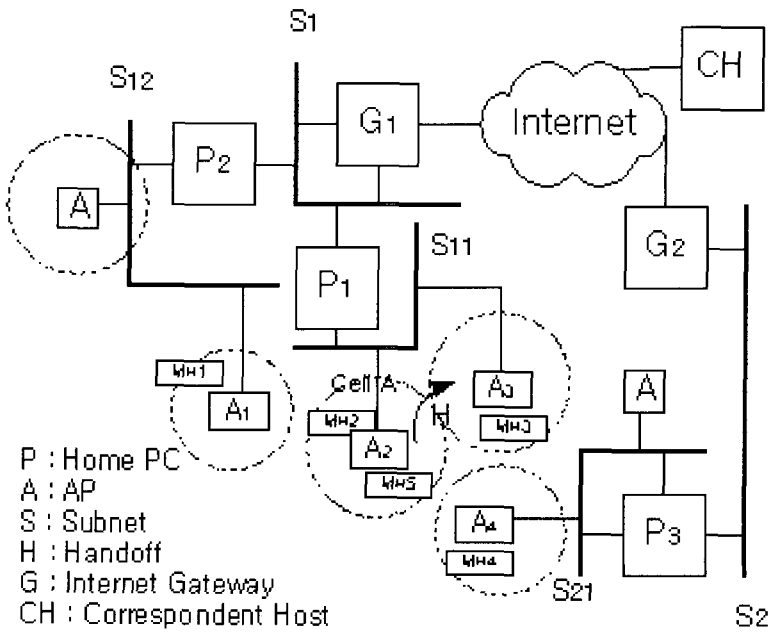
AP가 에이전트 기능을 하는 경우는 작은 반경을 가진 AP 영역을 빈번하게 이동하는 MH의 위치 등록 데이터에 의한 대역폭의 낭비가 발생한다. 홈 PC가 에이전트가 되는 경우는 홈 밖으로 이동성을 지원하지 않는다고 가정하였기 때문에 FA 기능이 없어지고 HA 기능만 남게 된다.

인터넷 게이트웨이가 에이전트가 되면 역시 외부로의 이동성이 지원되지 않는 것을 가정하였기 때문에 HA 기능만 하지만 인터넷 게이트웨이에 연결된 모든 홈 네트워크의 IP를 관리해야 하므로 트래픽이 증가하고 처리 시간이 지연으로 보안을 위한 솔루션이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 가정 내에서 밖으로 MH의 이동이 없고 홈 PC에 에이전트 기능을 설정한 경우를 대상으로 성능 해석을 수행하였다. 여기서 인터넷 게이트웨이는 여러 홈 네트워크를 인터넷에 접속해주는 라우터로 동작한다.

MH가 셀 내에서 이동하면서 인터넷을 접근할 때 사용하는 홈 네트워크용 IP 기반 무선 망 시스템을 그림 2에 보였다.

그림 2의 홈 네트워크용 IP 기반 무선 망은 한 개의 AP와 이에 접속하여 유선 망의 인터넷 서비스를 사용하는 여러 개의 MH로 구성된 셀을 기초로 한다. 셀의 상위 계층에는 여러 개의 셀, AP, MH 등을 포함한 무선 기기들을 관리하는 홈 PC와 인터넷에 접속 기능을 제공하는 인터넷 게이트웨이가 있다.

홈 PC는 홈 네트워크에 연결된 모든 기기를 관리하고 홈 네트워크에서 필요한 데이터의 저장 및 제공을 지원하고 라우터로 동작한다. 또한 MH에 이동성을 지원하는 HA로도 동작한다. 인터넷 게이트웨이는 홈 네트워크에 연결된 기기들이 필요한 데이터에 대한 인터넷과 IP 기반 무선 가입자 망의 접속을 제공한다. 또한 무선 기기 중에 일부 기기만 MH가 되며, MH가 아닌 무선 기기에서 발생하는 트래픽은 단지 데이터만 발생



〈그림 2〉 블루투스 기반 이동 홈 네트워크 시스템 모델

하기 때문에 모델링이 용이하므로 자세한 설명은 생략한다.

MH가 아닌 무선 기기는 고정 IP 주소를 가진 것으로 가정하였다. 다음에서는 서술상의 편의를 위하여 이동 단말기는 MH_i, AP는 A_i, 홈 PC는 P_i로, GW는 G_i로 표기하였다. 그림 2에서 MH_2와 MH_3에서 생성된 데이터는 각각 A_2와 A_3로 전송되어 P_1과 G_1를 통하여 인터넷으로 전달된다. 또한 셀 A 내의 휴지(idle) MH인 MH_5가 인터넷에 접속하기 위하여 신규 연결 요구 데이터를 생성하면 해당 데이터는 A_2를 거쳐 P_1에 등록되고 MH_5에 할당될 IP 주소를 포함한 응답 데이터가 P_1으로부터 A_2를 거쳐 MH_5에 전달된다. MH_5는 자신의 새로운 연결 요구에 대한 응답을 받은 후에 정보 데이터의 송수신을 시작한다.

자신의 셀에서 다른 셀로 이동한 MH는 AP의 변경을 확인한 후에 자신의 변경된 위치 정보를 HA에 등록하여 자신에게 데이터가 정확하게 전달되도록 한다. 본 논문에서는 MH의 위치 정보 등록에 사용되는 데이터를 핸드오프 데이터라 하였다. AP는 자신의 영역에 속한 MH들만 관리하기 때문에 핸드오프 데이터의 흐름은 다음과 같다.

MH_3가 이동하여 접속한 A_2는 이동하기 전에 연결되었던 A_3와는 다른 AP이기 때문에 핸드오프 데이터를 자신의 P_1에 등록해야 한다. 등록이 완료되면 A_3가 관리하던 MH_3에 관련된 정보를 없애고 등록이 성공되었다는 신호를 모든 AP로 방송(broadcasting)하여 핸드오프 절차를 완료한다.

앞에서 사용자 정보의 전송에 사용되는 정보 데이터를 인터넷 정보 데이터와 제어 정보 데이터로 구분하였다. 먼저, 인터넷 정보 데이터의 흐름을 살펴보면 다음과 같다. MH_3가 정보 데이터를 인터넷 상의 서버로 전송하는 경우에는 A_2, P_1, G_1를 차례로 거쳐서 대응 단말기, CH(Correspondent Host)에 전달된다. CH는 응답 데이터를 G_1를 통하여 P_1으로 전송하여 이동성 바인딩 목록을 참조하도록 하고 MH_3가 속한 A_2로 전달하여 최종 목적지인 MH_3에 전달되게 한다. A_2에 위치한 MH_1과 A_3에 있는 MH_3가 서로 정보 데이터를 교환하는 과정은 다음과 같다.

모두 HA의 영역 안에 있지만 이동성이 지원되기 때문에 MH로부터 정보 데이터를 받은 AP는 최종 목적지 MH로 전달하기 전에 자신이 관리하고 있는 주소 리스트에서 해당 MH가 어떤 AP에 있는지를 확인하여 전송한다. 앞에서 핸드오프가 일어나면 이동된 MH가 속한 AP 주소를 방송하기 때문에 모든 AP는 이동하여 핸드오프가 일어난 MH가 어떤 AP에 속한 위치를 관리할 수 있다.

제어 정보 데이터는 가정 내의 단말기를 사용한 제어 데이터와 인터넷 상의 사용자가 홈 PC를 사용하는 전송하는 제어 데이터로 구분할 수 있다. 가정 내의 단말기를 사용하는 제어 데이터의 흐름은 다음과 같다.

무선 단말기에서 제어 데이터가 생성되면 AP를 통하여 홈 PC로 입력된다. 홈 PC는 해당 제어 데이터가 제어 권한이 있는지 여부를 확인하여 권한이 없다면 에러를 보내고 권한이 있다면 AP를 통하여 해당 단말기로 제어 데이터를 전송한다. 인터넷 사용자가 제어 데이터를 전송하는 경우는 홈 PC에서 시작된다는 것 외에는 가정 내 단말기에서 발생한 제어 데이터와 동일하게 전송된다. 본 논문의 성능 해석 과정에서는 이러한 제어 데이터 중에서 생성되는 트래픽이 더 많은 가정 내의 단말기를 사용한 제어 데이터만을 고려하였다.

Ⅲ. 큐잉 시스템 모델과 성능 평가

본 논문에서는 시스템 모델의 단순화와 성능 해석의 편리성을 위하여 모든 셀에서 MH를 포함한 단말기, 홈 PC, 게이트웨이 등의 통계적 특성이 같고 서로 독립적인 것으로 가정하였다. 성능 해석에 사용된 시스템 모델을 정의하기 위하여 사용한 용어는 다음과 같다. 여기서 용어의 정의들은 해석 상의 편의를 위하여 모든 데이터 트래픽을 그림 1의 셀 A를 기준으로 기술하였다.

N_0 : 한 개의 셀 내에 속한 휴지 MH의 개수

λ_α : 개별 휴지 MH의 신규 연결 요구의 비율로 포아송(Poisson) 분포이다.

λ_t : 셀 A에서 발생한 t가 A_1에 도착하는 비율로 포아송 분포이다.

$\lambda_{t,A}$: t의 AP 도착 비율

$\mu_{t,A}$: A_i 내의 t에 대한 서비스 비율로 평균 시간 $1/\mu_{t,A}$인 가우시안 분포이다.

$\mu_{t,extA}$: 셀 A의 AP를 제외한 AP로부터 P_1로 들어오는 t의 도착율 합

$\lambda_{t,P}$: 홈 PC에 t의 도착율

$\mu_{t,P}$: P_i에서 서비스되는 t에 대한 서비스 비율로 평균 시간 $1/\mu_{t,P}$인 가우시안 분포이다.

$\lambda_{di,extP}$: 셀 A가 속한 홈 PC를 제외한 다른 홈 PC로부터 G_1으로 들어오는 인터넷 정보데이터 di의 도착율 합

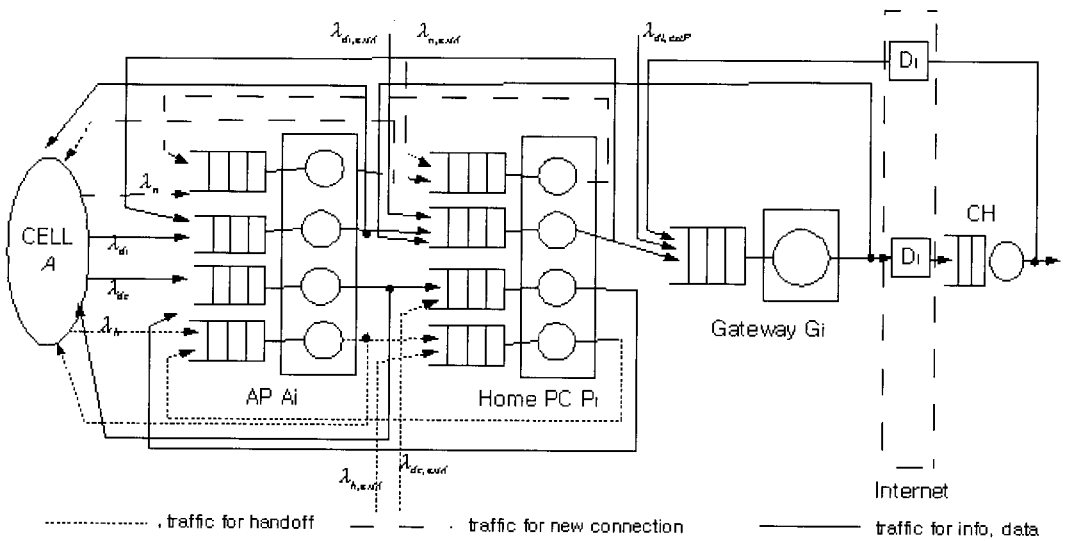
$\lambda_{di,G}$: 트래픽 형태 di의 인터넷 게이트웨이 도착율

μ_G : G_i에서의 트래픽 형태 di의 서비스 비율로 평균 시간 $1/\mu_G$인 가우시안 분포이다.

N_A : 하나의 홈 PC에 연결된 AP 또는 셀의 전체 개수

N_P : 한 개의 인터넷 게이트웨이에 접속된 홈 PC의 전체 개수

여기서, t는 트래픽을 의미하며, n은 신규 연결 트래픽이고 h는 핸드오프 데이터 트래픽을, di는 인터넷 정보 데이터 트래픽을, dc는 제어 정보 데이터 트래픽을 정의한 것으로 $t \in \{n, di,$



〈그림 3〉 시스템 큐잉 모델

$dc, h\}$이다.

그림 2의 블루투스 기반 이동 홈 네트워크 시스템의 큐잉 모델을 그림 3에 보였다. 그림 2의 AP, 홈 PC, GW에는 핸드오프 데이터, 신규 연결 요구 데이터, 인터넷 사용자 데이터, 제어 데이터를 위하여 개별적인 우선 순위 큐가 사용된다. 여기서 D_i는 인터넷을 통하여 전달되는 데이터의 전송 지연이다. 각 기기의 서비스는 비선점적(nonpreemptive)라고 가정하였다.

본 논문에서는 한 개의 MH는 한 개의 세션만을 사용하고 $N_0 \rangle\rangle C$의 관계가 성립되는 것으로 가정하였다. 여기서 C는 사용 가능한 세션의 총 개수로 블루투스 시스템의 사용을 고려하면 최대 값이 7이 된다. 개별 셀에서의 신규 연결 요구의 생성율, λ_n은 식(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\lambda_n = \lambda_a N_0 \qquad - (1)$$

모든 셀 내의 통계적 특성은 같고 서로 독립적이기 때문에 홈 PC와 GW에 도착하는 입력 트래픽 $\lambda_{i,extA}$와 $\lambda_{i,extP}$는 식(2)와 식(3)으로 각각 표현할 수 있다.

$$\lambda_{i,extA} = (N_A - 1)\lambda_i, \qquad - (2)$$

$$\lambda_{i,extP} = (N_R - 1)N_A\lambda_i \qquad - (3)$$

또한, 특정 AP에 도착하는 t의 도착율은 셀 A로부터 오는 메시지 도착율과 홈 PC로부터 오는 그 응답 데이터의 도착율의 합이므로 식(4)와 같이 표시할 수 있다.

$$\lambda_{t,A} = \begin{cases} 2\lambda_t & \text{for } t \in \{n, di, h\} \\ 4\lambda_t & \text{for } t = dc \end{cases} \qquad - (4)$$

이러한 결과는 핸드오프 데이터, 신규 연결 요구 데이터, 인터넷 정보 데이터를 AP로 전송하면 해당 데이터에 대한 응답을 대응하는 홈 PC로부터 받기 때문이다. 또한 제어 정보 데이터는 요구 데이터와 응답 데이터가 셀로부터 생성되고 요구 데이터가 λ_{dc}로 생성되고 모든 셀이 서로 독립적이고 같은 특성을 가진다고 하였기 때문에 셀에서 만들어지는 데이터 율은 다른 트래픽과 달리 $2\lambda_{dc}$가 된다. 홈 PC에 도착하는 각 트래픽 도착율은 식(5)와 같다.

$$\lambda_{t,P} = \begin{cases} \lambda_t + (N_A - 1)\lambda_t = N_A\lambda_t & \text{for } t \in \{n, h\} \\ 2(\lambda_t + (N_A - 1)\lambda_t) = 2N_A\lambda_t & \text{for } t = di \\ 2\lambda_t + (N_A - 1)2\lambda_t = 2N_A\lambda_t & \text{for } t = dc \end{cases} \qquad - (5)$$

식(5)의 첫 번째 항은 셀 A의 AP로부터 홈 PC에 입력되는 트래픽 도착율이고 두 번째 항은 셀 A를 제외한 셀로부터의 홈 PC에 입력되는 트래픽 도착율이다. GW에서의 정보 데이터의 트래픽 도착율은 식(6)으로 구할 수 있다.

$$\lambda_{di,G} = 2(N_A\lambda_{di} + (N_P - 1)N_A\lambda_{di}) = 2N_P N_A\lambda_{di} \qquad - (6)$$

식(6)의 두 번째 항은 셀 A가 속한 홈 PC 이외의 다른 홈 PC로부터 오는 트래픽이다. 다음에서는 우선 순위가 적용된 AP, 홈 PC의 큐에서 개별 트래픽의 평균 큐잉 시간 및 지연 시간을 구한다. 먼저 AP, 홈 PC의 이용률(utilization)은 식(7)을 사용하여 트래픽의 종류 별로 나타낼 수 있다.

$$\rho_{t,\alpha} = \lambda_{t,\alpha} / \mu_{t,\alpha}, \qquad - (7)$$

$$\text{where } t \in \{n, dc, di, h\}, \ \alpha \in \{A, P\}$$

여기서, α는 AP, 홈 PC를 의미하는 인덱스이다. 인터넷 게이트웨이에서의 안정성을 위하여 이용율, $\rho_{di,G} = \lambda_{di,G}/\mu_G \langle 1$가 성립한다. 또한 AP

및 홈 PC 시스템의 안정성이 보장되기 위해서는 모든 데이터 트래픽의 이용율 합이 식(8)의 조건을 만족해야 한다.

$$\rho_{h,\alpha} + \rho_{di,\alpha} + \rho_{dc,\alpha} + \rho_{n,\alpha} < 1 \quad \text{where} \quad \alpha \in \{A, R\} \text{-} (8)$$

AP 및 홈 PC에서는 네 종류의 트래픽에 각각 우선 순위를 정하여 해당되는 우선 순위 큐로 입력하고 전송 서비스를 한다. 가장 높은 우선 순위를 가진 트래픽에 대한 평균 큐잉 시간을 $W_{1,\alpha}$로 하고 2, 3, 4(가장 낮은 우선 순위)의 우선 순위를 가진 트래픽에 대한 평균 큐잉 시간을 $W_{2,\alpha}$, $W_{3,\alpha}$, $W_{4,\alpha}$로 각각 정의하였다. 이러한 개별 데이터 트래픽의 평균 큐잉 시간, $W_{1,\alpha}$, $W_{2,\alpha}$, $W_{3,\alpha}$, $W_{4,\alpha}$는 식(9) ~ 식(12)을 이용하여 구할 수 있다.

$$W_{1,\alpha} = R \Big/ (1-\rho_{1,\alpha}), \quad \text{-(9)}$$

$$W_{2,\alpha} = R \Big/ (1-\rho_{1,\alpha})(1-\rho_{1,\alpha}-\rho_{2,\alpha}), \quad \text{-(10)}$$

$$W_{3,\alpha} = R \Big/ (1-\rho_{1,\alpha}-\rho_{2,\alpha})(1-\rho_{1,\alpha}-\rho_{2,\alpha}-\rho_{3,\alpha}), \quad \text{-(11)}$$

$$W_{4,\alpha} = R \Big/ (1-\rho_{1,\alpha}-\rho_{2,\alpha}-\rho_{3,\alpha})(1-\rho_{1,\alpha}-\rho_{2,\alpha}-\rho_{3,\alpha}-\rho_{4,\alpha}) \text{-(12)}$$

여기서, $R = (\lambda_{h,\alpha}\overline{X^2_{h,\alpha}} + \lambda_{di,\alpha}\overline{X^2_{di,\alpha}} + \lambda_{dc,\alpha}\overline{X^2_{dc,\alpha}} + \lambda_{n,\alpha}\overline{X^2_{n,\alpha}})/2$ 이고 $\overline{X^2_{t,\alpha}}$는 t에 대한 기기 α의 서비스 시간의 2차 모멘트이다. 또한 $\rho_{1,\alpha}$, $\rho_{2,\alpha}$, $\rho_{3,\alpha}$, $\rho_{4,\alpha}$는 $\rho_{t,\alpha}$와는 다른 정의로 각각 기기 α에서의 우선순위 1, 2, 3, 4를 가진 트래픽의 이용율로 제어 정보 데이터가 가장 높은 우선 순위가 되면 $\rho_{1,\alpha}=\rho_{dc,\alpha}$가 된다.

인터넷 게이트웨이에서의 평균 큐잉 시간은 일반적인 M/G/1을 사용하여 구할 수 있으므로 식(13)과 같다.

$$W_{di,G} = \frac{\lambda_{di,G}\overline{X^2_{di,G}}}{2(1-\rho_{di,G})} \quad \text{-(13)}$$

기기 α에서 t의 평균 지연 시간, $T_{t,\alpha}$는 식(14)로 구할 수 있다.

$$T_{t,\alpha} = 1/\mu_{t,\alpha} + W_{t,\alpha} \quad \text{-(14)}$$

ET_t는 MH를 포함한 무선 단말기가 t를 생성한 순간부터 최종 목적지로부터 응답을 받을 때까지 걸리는 응답 시간을 정의한 것이다. 신규 연결 요구 데이터와 핸드오프 데이터의 최종 목적지는 홈 PC이고 인터넷 정보 데이터의 최종 목적지는 인터넷상의 CH이다. 제어 정보 데이터의 최종 목적지는 홈 PC에 접속된 무선 단말기이다. 핸드오프 데이터는 무선 단말기만이 생성할 수 있다. 이러한 수식 정의를 이용하여 데이터 종류별 ET_t를 구하면 다음과 같다.

$$ET_n = 2(T_{n,A} + T_{n,P})$$
$$ET_h = 2(T_{h,A} + T_{h,P}),$$
$$ET_{di} = 2(T_{di,A} + T_{di,P} + T_G + D_i) + T_{CH},$$
$$ET_{dc} = 2(T_{dc,A} + T_{dc,P} + T_{dc,A}) + T_{Mc},$$

여기서, T_{CH}는 CH에서의 지연 시간 및 서비스 시간의 합으로 서비스 시간은 평균 $1/\mu_{CH}$인 지수 분포를 가진다. CH에 평균 λ_{CH}인 포아송 분포로 데이터 트래픽이 입력된다고 가정하면 $T_{CH}=1/(\mu_{CH}-\lambda_{CH})$이다. 마찬가지로 T_{Mc}는 무선 단말기에서의 지연 시간과 서비스 시간의 합으로 서비스 시간은 평균 $1/\mu_{CH}$인 지수 분포를 가진다. 또한 도착율이 평균 λ_{dc}인 포아송 분포이기 때문에 $T_{Mc}=1/(\mu_{dc}-\lambda_{dc})$가 된다.

Ⅳ. 성능 해석 및 결과

이 장에서는 앞에서 정의한 수식을 이용하여 블루투스 기반 이동 홈 네트워크의 성능을 해석하였다. 이를 위하여 표 1과 표 2에 주어진 다양한 매개변수를 사용하여 각 시스템에서의 개별 데이터 트래픽에 대한 응답 시간을 구하여 비교 분석하였다.

〈표 1〉 시스템 매개변수의 평시 값

정의	매개변수 값	정의	매개변수 값
D_i	1	λ_h	0.05
T_{CH}	0.5()	N_A	6
λ_n	0.05	N_P	50
λ_{di}	0.1	μ_{dc}	8
λ_{dc}	0.1		

각 서비스 시간의 2차 모멘트는 다음과 같이 정할 수 있다.

$$\overline{X_{t,\alpha}^2} = (\omega_{t,\alpha}+1)\left(\frac{1}{\mu_{t,\alpha}}\right)^2 \quad \text{for } t \in \{n, di, dc, h\} \text{ and } \alpha \in \{A, P\}$$

$$\overline{X_{di,G}^2} = (\omega_{di,G}+1)\left(\frac{1}{\mu_G}\right)^2$$

여기서, ω_x는 가중치이다. AP, 홈 PC, GW에 사용되는 개별 트래픽의 평균 서비스 율과 2차 모멘트 값을 구하는데 사용되는 가중치는 표 2와 같다. AP 및 홈 PC에 위치한 우선 순위 큐에는 다음과 같이 두 가지 경우로 트래픽을 기준으로 한 우선 순위를 가정하여 성능을 해석하였다.

Case 1: 제어 정보 〉 핸드오프 〉 인터넷 정보 〉 연결 요구

Case 2: 핸드오프 〉 제어 정보〉 인터넷 정보 〉 연결 요구

표 2의 매개변수 값을 이용하여 새로운 연결 요구 데이터, 제어 정보 데이터, 핸드오프 데이터 각각의 도착율 증가에 따른 AP에서의 평균 지연 시간과 응답 시간의 변화를 각각 그림 4 ~ 그림 7과 그림 8 ~ 그림 11에 보였다.

그림 4 ~ 그림 7은 경우 1, 경우 2와 AP에서 하나의 큐만을 사용한 경우(즉, 우선 순위 큐를 사용하지 않는 경우)에 대해 지연 시간을 비교하였다. 4 종류의 데이터 도착율을 변화시킴으로써 AP에서의 지연 시간들을 비교할 때, 하나의 큐만을 사용한 경우의 지연 시간은 가장 높은 우선 순위의 지연 시간보다는 크고 낮은 우선 순위의 지연 시간 보다는 작은 현상을 살펴보았다. 그림들

〈표 2〉 AP, 홈 PC 및 GW의 매개변수의 평시 값

	New Connect.(n)	Internet Data (di)	Control Data (dc)	Handoff(h)
$\mu_{t,A}$	8	8	8	8
$\omega_{t,A}$	1	1	1	1
$\mu_{t,P}$	30	30	30	30
$\omega_{t,P}$	1	1	1	1
μ_G	-	200	-	-
$\omega_{di,G}$	-	1	-	-

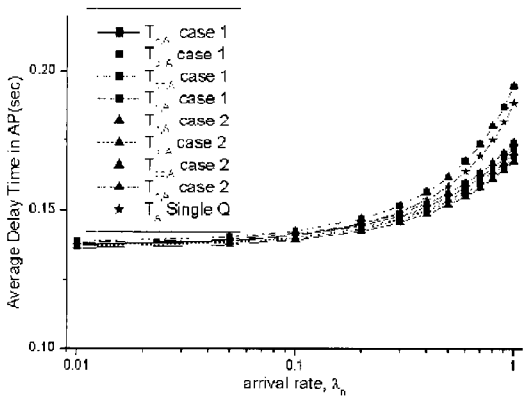
에서는 AP만을 대상으로 하였지만 홈 PC도 비슷한 결과를 보였다. 하나의 큐만을 사용한 경우는 모든 트래픽의 지연시간의 평균 값 정도에 위치하는 것을 그림들로부터 알 수 있다. 이러한 결과는 하나의 큐만을 사용하는 AP 및 홈 PC로 홈 네트워크를 구축할 경우 낮은 우선 순위의 트래픽이 많을 경우 제어 정보 등의 서비스 시간이 지연이 되어 심각한 상태가 올 수 있음을 보여 주고 있다. 그러나, 우선 순위 큐로 서비스 하는 경우는 트래픽이 많더라도 우선 순위가 높은 경우는 빠른 시간내에 서비스가 된다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 연결 요구 데이터 도착율의 증가에도 불구하고 응답 시간에 변화가 없는 것을 보여준다. 모든 데이터의 응답 시간이 모두 비슷한 값을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 가장 낮은 우선 순위의 트래픽이 실제로 다른 트래픽에 영향을 주지 않는다는 것을 보여준다.

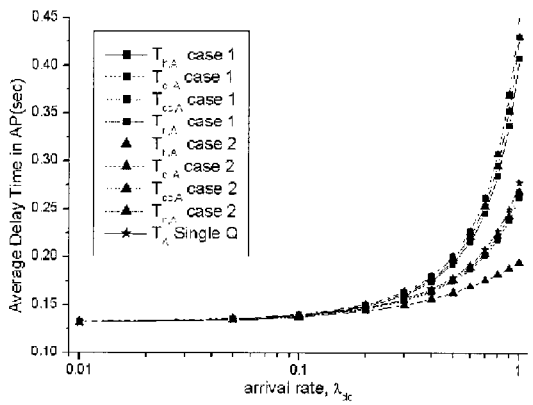
그림 9는 제어 정보 데이터의 트래픽 변화에 따른 응답 시간의 변화를 보인 것으로 도착율이 0.5가 되기 전에는 소요 시간에 변화가 없지만 0.5 이상이 되면서 급증하는 것을 볼 수 있다. 또한 경우 1과 경우 2에서의 핸드오프 데이터와 제어 정보 데이터의 변화를 비교하면 경우 2에서의 핸드오프 데이터는 변화가 거의 없지만 제어 정보 데이터는 두 경우 모두에서 도착율 0.5 이상에서 급증하는 것을 볼 수 있다. 인터넷 데이터와 연결 요구 데이터는 두 경우 모두에서 비슷한 값을 보이면서 증가한다. 그림 10은 핸드오프 데이터의 트래픽 변화에 따른 응답 시간을 보인 것이다.

핸드오프 데이터의 응답 시간 변화는 두 가지 경우에서 모두 차이가 없는 반면에 제어 정보 데이터의 응답 시간은 경우 2가 경우 1보다 큰 것을 볼 수 있다. 이는 제어 정보의 트래픽의 우선 순위가 핸드 오프 트래픽보다 낮고, 핸드오프 트래픽이 많아지면 제어 정보의 서비스 받는 시간이 늦어지기 때문이다. 그림 9와 그림 10을 비교하면 경우 1이 경우 2보다 모든 트래픽에서 응답 시간의 변화가 적은 것을 알 수 있다. 그림 11은 인터넷 데이터의 트래픽 변화에 따른 응답 시간을 보인 것이다. 그림 상에서 응답 시간은 변화가 없지만 도착율이 0.4를 넘으면 게이트웨이의 안정성이 보장되지 않기 때문에(즉, $\rho_{di,G}=\lambda_{di,G}/\mu_G<1$ 이 성립되지 않기 때문에), 인터넷 데이터와 연결 요구 데이터의 응답 시간이 무한히 길어진다.

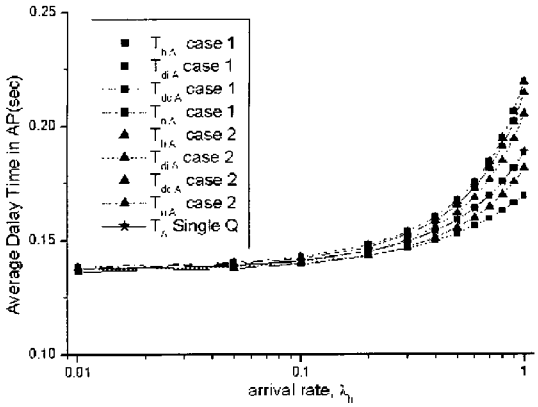
물론, 무선 기기로부터 오는 트래픽이 많아져 식 (8)이 성립되지 않을 수 있다. 이러한 경우들



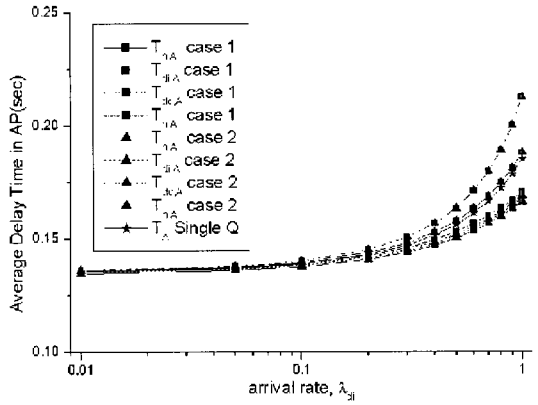
〈그림 4〉 λ_n에 대한 AP에서의 평균 지연 시간의 비교



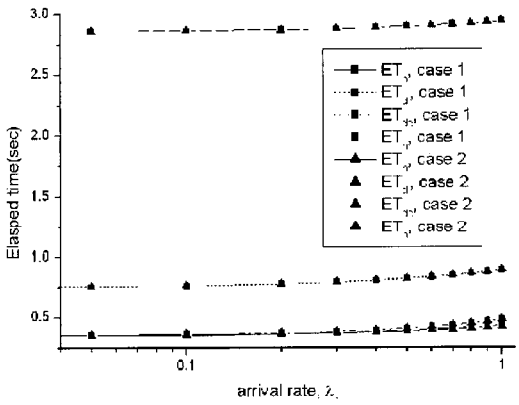
〈그림 5〉 λ_{dc}에 대한 AP에서의 평균 지연 시간의 비교



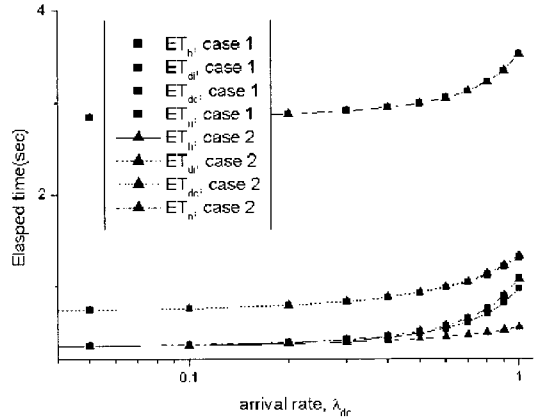
〈그림 6〉 λ_h에 대한 AP에서의 평균 지연 시간의 비교



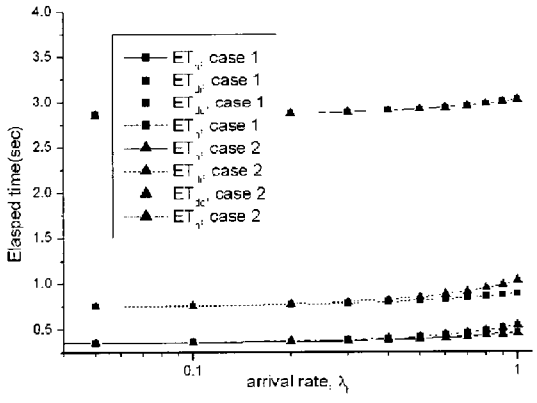
〈그림 7〉 λ_{si}에 대한 AP에서의 평균 지연 시간의 비교



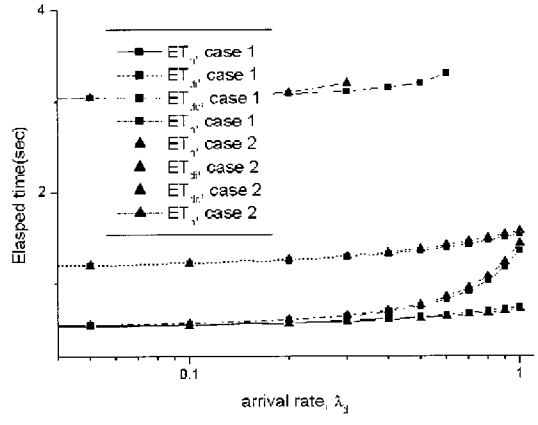
〈그림 8〉 λ_h에 대한 트래픽 응답 시간의 변화



〈그림 9〉 λ_{dc}에 대한 트래픽 응답 시간의 변화



〈그림 10〉 λ_h에 대한 트래픽 응답 시간의 변화



〈그림 11〉 λ_{di}에 대한 트래픽 응답시간의 변화

에도 우선 순위가 높은 데이터 전송은 보장되지만 버퍼가 계속해서 사용되기 때문에 버퍼 관리가 완벽하지 않으면 시스템이 다운될 수도 있고, 낮은 우선 순위의 트래픽의 경우는 전송이 안 될 수 있기 때문에 홈 네트워크 설계시 주의를 요한다.

이러한 성능 해석의 결과로부터 네트워크 상의 트래픽이 증가할수록 우선 순위가 높은 것은 보장이 되는 것을 볼 수 있다. 연결 요구의 우선 순위가 낮기 때문에 인터넷 데이터등의 우선 순위가 높은 트래픽이 많은 경우에는 연결 요구가 불가능하기 때문에 문제가 발생할 수 있다. 특히 블루투스를 사용할 경우에는 7개의 세션만 동시에 사용할 수 있기 때문에 기기들이 필요할 때마다 연결과 연결 해제를 반복하면서 수행해야 한다. 하지만 인터넷 데이터등의 높은 우선 순위의 트래픽이 많을 경우에는 연결이 안될 수 있기 때문에 제어 정보 데이터가 전송되지 않을 수 있다. 따라서, 인터넷 데이터 등의 높은 우선 순위의 트래픽 양을 제한할 필요가 있다.

한편, 제어 정보 데이터는 기기 제어를 위한 것이기 때문에 핸드오프 데이터보다 우선 순위가 높은 것으로 생각되지만 성능 해석의 결과에서는 트래픽이 적은 경우에는 핸드오프 데이터가 우선 순위가 높아도 반대인 경우보다 응답 시간에 차이가 없는 것을 보여준다. 하지만 제어 정보 데이터가 증가할수록 응답 시간의 변화가 크기 때문에 우선 순위를 높이는 것이 필요하다.

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 근거리 무선 인터페이스인 블루투스 프로토콜을 적용한 블루투스 기반 이동 홈 네트워크(home network) 시스템의 성능을 해석하였다. 성능 해석에 사용된 이동 홈 네트워크을 구성하는 시스템은 MH를 포함한 무선 기기, AP, 홈 PC와 인터넷 게이트웨이 등이다. MH는 mobile IP를 사용하여 이동 중에도 인터넷 접속을 통한 다양한 서비스를 제공받는다.

본 논문에서는 성능 해석에 사용하기 위하여 트래픽을 생성하는 데이터를 연결 요구 데이터, 인터넷 데이터, 제어 데이터, 핸드오프 데이터로 분류하고 이들 데이터를 위한 큐를 홈 네트워크 시스템을 큐잉 시스템으로 모델링하였다. 제시된 큐잉 시스템 모델에서는 AP와 홈 PC에 네 개의 우선 순위 큐가 사용되는 것으로 하고 M/G/1 모델을 사용하여 개별 트래픽을 우선 순위 큐에 대응시켰다.

성능 해석을 위하여 제시한 큐잉 시스템 모델을 기초로 셀(혹은 AP)의 수, 홈 PC의 수, AP와 Home PC 및 게이트웨이의 서비스 시간 등의 항으로 개별적인 데이터에 대한 응답 시간을 구하였다. 이렇게 구해진 개별 트래픽에 대한 응답 시간의 영향을 분석하기 위하여 여러 예를 제시하여 분석하였다.

이러한 예로부터 제어 정보 트래픽이 증가할수록 핸드오프 데이터보다 제어 정보 데이터의 응답 시간 변화가 크기 때문에 제어 정보 트래픽의 우선 순위가 높아야 한다. 또한 인터넷 데이터의 트래픽이 증가하면 그 보다 낮은 우선 순위의 연결 요구 데이터 큐와 인터넷 데이터의 큐가 불안정해져서 연결 요구 데이터가 손실되므로 네트워크 상에 문제가 발생하게 된다. 따라서, 홈 PC에서 인터넷 데이터로 인한 트래픽을 제한할 필요가 있다. 또한 하나의 큐만을 사용하는 AP와 홈 PC는 데이터 트래픽의 양이 많아지면 주요 데이터인 제어 데이터 등의 지연 시간을 길게 하여 원하는 시간 내에 데이터가 전달되지 못하게 할 가능성이 매우 많기 때문에 사용에 주의

를 하여야 한다.

앞으로의 연구 과제는 본 논문에서 제시된 큐잉 시스템 모델을 유무선 단말기가 혼재한 경우의 모델로 확장하여 성능 해석을 하는 것이다.

저자 소개

박 홍 성

1983년 서울대 제어계측공학과 (학사)
1986년 동대학원 (석사)
1992년 동대학원 (박사)
1983~1990년 삼성전자 근무
1992~현재 강원대 전기전자정보통신공학부 부교수

관심 분야 : 실시간 네트워크, 블루투스/WLAN, 무선 데이터 통신 해석, 프로토콜 설계 및 분석

정 명 순

1989년 강원대학교 전자공학과 (학사)
1992년 강원대학교 전기공학과 (석사)
1999년 강원대학교 전자공학과 (박사)
1994년 8.~2001년 6. 강원대학교 시간강사
2001년 8.~현재 강원대학교 BK21 계약교수

관심 분야 : 이동 통신

■ 참고문헌

[1] IEEE 802.11, http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.htm

[2] HomeRF, http://homerf.org

[3] Bluetooth, http://www.bluetooth.com

[4] HiperLAN, http://www.hiperlan2.com

[5] Ultra Wideband, http://www.palowireless.com/uwb

[6] C.E. Perkins, IP mobility support, IETF RFC 2002, Oct. 1996.

[7] J.P. Mysore and V. Bharghavan, " Performance of Transport Protocols over a Multicasting-based Architecture for Internet Host Mobility," *1998 IEEE International Conf. on Communication*, pp.1817-1823, 1998.

[8] D. Tang and M. Baker,"Analysis of a Local-Area Wireless Network," *6-th International Conf. on Mobile Computing and Networking*, pp.1-10, Aug. 2000.

[9] A. Zahedi and K. Pahlavan, "Capacity of a Wireless LAN with Voice and Data Service," *IEEE Tr. on Communications*, Vol. 48, No.7, pp.1160-1170, July 2000.

[10] A. Hac, "Congestion Control in a Wireless Network," *International J. of Network Management*, Vol. 9, pp. 185-192, 1999.

[11] J.C. Wu, C. Cheng, N. Huang, and G. MA, "Intelligent Handoff for Mobile Wireless Internet," *Mobile Networks and Applications*, Vol. 6, pp.67-79, 2001.

[12] P.V. Orlik and S.S. Rappaport, "On the Handoff Arrival Process in Cellular Communications," *Wireless Networks*, Vol. 7, pp.147-157, 2001.

[13] B. Li, C. Wu, and A. Fukuda, "Performance Analysis of Flexible Hierarchical Cellular Systems with a Bandwidth-Efficient Handoff Scheme," *IEEE Tr. on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 4, pp. 971-980, July 2001.