

# IPv6 기반 이동 Ad Hoc 네트워크에서의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜과 자동 네트워크 기술

김기범<sup>o</sup>, 김기천

건국대학교

dethrecon@cse.konkuk.ac.kr<sup>o</sup>, kckim@konkuk.ac.kr

## Multicast Routing Protocol and Autoconfiguration Technology for IPv6 Mobile Ad Hoc Network

Kibum Kim<sup>o</sup>, Kichun Kim

Konkuk University

### 요약

이동 Ad Hoc 네트워크는 사전에 계획되지 않은, 필요에 의해서 발생하는 단일 혹은 멀티 홉 무선 네트워크이다. 기간망 구조를 활용하지 않는 이동 Ad Hoc 네트워크에서는 네트워크를 구성하는 이동 단말들에게 라우팅 기능이 전가되며, 이동 단말의 움직임에 따라 동적으로 네트워크 토폴로지가 변경되는 특성을 갖게 된다. 현재 제안되고 있는 이동 Ad Hoc 네트워크의 라우팅 프로토콜들은 기본적으로 이동 Ad Hoc 네트워크의 특성을 고려하여 설계되었으며, 각기 효율적인 라우팅 알고리즘을 제안하여 이동 Ad Hoc 네트워크상에서 발생할 수 있는 제어 패킷 부담, 전력 소모 부담 등을 최소화 하기 위한 연구를 하고 있다. 또한 Ad hoc 네트워크 사용자가 쉽게 이동 단말을 이용할 수 있도록 이동 단말의 주소 설정을 IPv6의 주소 자동 설정을 이용하는 무설정 기법이 제안되고 있다. 본 논문에서는 Ad hoc 네트워크의 특징 및 응용과 현재 까지 제안되어 온 멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 특징을 분석하고 IP 네트워크에 필수적인 자동화 기술의 개념 및 개발 현황을 소개한 후 향후 연구 방향을 제시 하였다.

### 1. 서론

이동 Ad Hoc 네트워크는 이동성이 부여된 단말들이 고정된 기간망에 독립적으로 무선 인터페이스를 이용하여 자율적으로 구성하는 임시적인 네트워크이다. 이동 Ad Hoc 네트워크는 기간망이 존재하지 않거나 기간망에 기초한 네트워크의 전개가 용이하지 않은 지역에서 임시적으로 네트워크를 구성하기 위해 개발된 기술로서, 초기에 군사적인 응용 목적으로 연구가 시작되었으나, 최근에는 PAN과 같이 실생활에 적용될 수 있는 여러 분야로 응용이 확대되고 있다.[1][2] IPv6 기반의 이동 Ad-hoc 네트워크에서의 IP 네트워킹에 필수적인 설정 및 서비스를 자동화하는 자동 네트워킹 기술을 통해 Ad hoc 네트워크에 위치하는 이동 단말은 네트워킹에 필요한 네트워크 인터페이스의 IP 주소 설정을 자동적으로 할 수 있고, 인터넷 서비스의 대표적인 응용인 웹 서비스를 위한 DNS 운영도 Ad-hoc 네트워크에서 수행할 수 있다. 자동 네트워킹 기술은 또한 화상회의 응용과 같은 멀티캐스트 응용이 세션을 운영하는데 필요한 멀티캐스트 주소도 자동으로 할당할 수 있을 뿐만 아니라, 이동 단말의 응용이 특정 서비스를 제공받기를 원할 때 그 서비스를 제공할 서버를 발견할 수 있는 서비스 위치 탐색 기능도 제공함으로써, Ad-hoc이라는 특수한 환경에서 다양한 네트워크 서비스를 운영할 수 있게 한다. 또한 Ad-hoc 네트워크에

서 오디오 또는 비디오 화상회의 같은 멀티캐스트 서비스의 필요성도 부각되고 있다. 아울러 Ad-hoc 네트워크 사용자가 쉽게 이동 단말을 이용할 수 있도록 이동 단말의 주소 설정을 IPv6의 주소 자동 설정을 이용하는 무설정 기법 (Zero configuration)이 제안되고 있다[3]. 본 고에서는 이와 같이 Ad hoc 네트워크에서의 IP 네트워킹에 필수적인 4가지 기술인 IPv6 유니캐스트 주소 자동 설정, IPv6 멀티캐스트 주소 자동 할당, DNS 서비스, 서비스 위치 탐색 기법의 개념 및 개발 현황과 다양한 멀티 캐스트 라우팅 프로토콜의 개념과 특성을 비교한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 자동 네트워크 기술

IETF Zeroconf 워킹그룹은 IP 네트워킹에 필요한 설정이 사용자나 관리자의 관여 없이 자동적으로 수행될 수 있게 하는 자동 설정 기술을 연구하고 있다 [4]. 이러한 기술은 SOHO (Small Office Home Office) 네트워크, 비행기나 기차 같은 교통/운송 수단에서의 네트워크, 정보가전으로 구성된 홈 네트워크, 그리고 임시 방편적으로 구성되는 Ad hoc 네트워크 상에서 IP 네트워킹을 쉽게 운용되도록 고안되었다. 이러한 자동 네트워킹 기술은 Zeroconfiguration 또는 Autoconfiguration 이라고 명명되는데, 크게 4가지 구성 기술로 나누어 진다. 첫째는 IP 인터페이스 설정, 둘째는 호스트 이름의 IP 주소로의 변환, 셋째는 IP 멀티캐스트

주소의 할당 그리고 끝으로 넷째는 서비스 탐색이다 [3].

## 2.2 이동 Ad Hoc 네트워크의 특징

이동 Ad Hoc 네트워크는 노드 간의 통신을 위해 무선 인터페이스를 사용한다. 유선 인터페이스 방식과 비교 할 때 무선 인터페이스 방식은 전송 대역폭이 작다는 특징이 있다. 무선 인터페이스 방식은 한정된 대역의 주파수를 사용하기 때문에 이 대역을 통해 보낼 수 있는 데이터 전송률에 제한이 있을 뿐만 아니라, 이를 다수의 노드들이 서로 공유하여 사용하기 때문에 노드 수가 많을수록 각각의 노드가 평균적으로 사용할 수 있는 전송 대역폭이 줄어들게 된다. 또한, 무선 인터페이스 방식은 제한된 전송 거리를 가진다. 무선 전송 거리가 멀어 질수록 데이터 전송률이 낮아지게 되므로 적절한 전송률을 유지하기 위해서는 전송 거리 상에 제약이 따르게 된다. 이동 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 노드는 이동성을 가지기 때문에 네트워크의 토폴로지 또한 시각에 따라 동적으로 변화한다. 노드의 이동성은 새로운 노드의 네트워크 내부로의 진입, 네트워크 내부에서의 노드의 이동, 네트워크 외부로의 노드 이동 등을 들 수 있으며, 네트워크 내부에서 노드의 전원은, 오프도 네트워크 토폴로지 변화에 영향을 준다. 이동 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 대부분의 노는 이동성을 지원하기 위해 제한된 용량의 배터리를 에너지원으로 사용한다. 이와 같은 에너지의 제약은 라우팅 프로토콜 설계에도 큰 영향을 준다. 노드들의 에너지 상태를 고려하여 경로를 선택해야 안정적인 데이터 전송이 가능하다. 보안 문제는 일반 유선 네트워크에서도 존재하고 있지만, 이동 Ad Hoc 네트워크는 무선 인터페이스를 사용하기 때문에 더 많은 위험에 노출되어 있다.

## 2.3 이동 Ad Hoc 네트워크의 응용 분야

이동 Ad Hoc 네트워크의 주요 응용 분야로는 긴급 서비스를 위한 임시적인 네트워크의 구성을 들 수 있다. 천재 지변이나 재난으로 인하여 통신 기반 시설의 이용이 불가능하거나, 사막이나 산간 지대 등 기반 시설의 설치가 용이하지 않은 지역에서 적용이 가능하다. 군사적인 응용은 이동 Ad Hoc 네트워크의 가장 유용한 분야의 하나이다. 기밀 통신 시설의 이용이 불가능한 전장에서 부대 단위간의 통신에 사용될 수 있다. WPAN과 홈 네트워킹은 최근 등장하고 있는 이동 Ad Hoc 네트워크의 응용 분야이다. PDA, 휴대폰 등 개인이 휴대한 정보 통신 기기들간의 소규모 네트워크인 PAN을 구성하는 데 있어서 기기들의 추가 삭제, 또는 다른 PAN과의 인터워킹 이 모두 Ad Hoc 개념에 기반 하여 수행된다.[1][2]

## 3. 멀티캐스트 라우팅 프로토콜

Ad Hoc 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 전달 구조의 형태에 따

라 하나의 전달 경로를 통해 데이터가 전송되는 트리 기반 방식과 하나 이상의 전달 경로가 존재하는 매쉬 기반 방식으로 분류 할 수 있다. 또한, 경로 결정을 하는 시점에 따라 데이터의 실제적인 발생과 관계 없이 전달 구조를 구성하는 사전 결정 방식과 데이터 발생에 의해 전달 구조를 구성하는 요구 기반 방식으로 분류할 수 있다.

### 3.1 풀러딩을 이용한 멀티캐스트

[5]에서는 이동성이 큰 경우 신뢰성 있는 멀티캐스트를 위해서는 풀러딩을 사용해야만 함을 제안하였다. 상태정보를 유지해야 하는 프로토콜은 이동성이 큰 경우 순간적으로는 유지하는 정보가 정확하지만 곧 틀린 정보가 되어 버리므로, 신뢰성 있는 데이터 전달을 위해 트리나 메쉬 어떤 구조라도 이를 위한 오버헤드가 커 지므로 궁극적으로 제약이 없고 예측이 어려운 이동성에 대응하여 풀러딩을 사용해야 한다는 것이다. 그러나 [5]에서는 이동성이 어느 정도 이상이 되면 풀러딩이라 할지라도 완전히 신뢰성 있는 데이터 전달을 성취할 수 없음을 보이고 신뢰성 향상을 위해 패킷별 상태 정보를 단시간 유지하는 방법이 필요함을 말하고 있다.

### 3.2 Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP)과 On Demand Multicast Protocol (ODMRP)

FGMP[6]와 ODMRP[7]는 매우 유사한 방식의 프로토콜로서 전자는 사전 결정 방식의 프로토콜인데 반해 후자는 요구 기반 방식이라는 점이 차이점이다. 이 두 프로토콜은 모두 제한적인 풀러딩에 의해 데이터를 전달한다. 제한적인 풀러딩이란 데이터 전달이 풀러딩에 의해 이루어지되 네트워크를 구성하는 노드들 가운데 일부만이 풀러딩에 참여하는 것을 의미한다. FGMP/ODMRP는 풀러딩에 비하여 멀티캐스트 데이터 전달을 담당하는 노드의 수를 효과적으로 줄이고, 데이터가 최단 경로를 통해 전달되며, 멀티캐스트를 전달 구조를 구성하는 노드에 유지해야 하는 상태 정보가 극히 간단하다는 장점이 있다. 그러나, 이동성이 증가하면 이에 따라 정기적인 제어 패킷 풀러딩 인터벌이 짧아져야 하고, 송신원 혹은 수신원의 수가 늘어남에 따라 제어 패킷 풀러딩 오버헤드가 급격히 증가한다는 문제가 있다.

### 3.3 Core-Assisted Mesh Protocol (CAMP)

CAMP[8]는 ODMRP와 같은 제어 패킷의 풀러딩이나 DVMP와 같은 데이터 패킷의 풀러딩 없이 멀티캐스트 그룹에 멤버들이 참여할 수 있도록 하기 위하여 코어 노드를 사용한다. 그러나, CBT 경우와는 달리 프로토콜의 동작 가능성 여부가 코어 노드의 존재 여부에 의존하지는 않는다. 즉, 코어 노드 부재 시에도 멀티캐스트 그룹 가입 및 데이터 전달이 이루어질 수 있다. 다만, 멀티캐

스트 그룹에 가입하는 지연 및 오버헤드가 커지게 된다. CAMP는 ODMRP와 마찬가지로 하나 이상의 데이터 전달 경로를 제공함으로써 이동성에 대해 안정적이며, 코어 노드를 이용해 데이터 혹은 제어 패킷 풀러링 없이 멀티캐스트 그룹 가입이 가능하도록 하였다. 그러나 코어 주변과 코어에서 멀리 떨어진 위치의 전달 매쉬 밀도가 달라서 이동성이 커짐에 따라 코어에서 먼 부분의 성능이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다.

### 3.4 Ad Hoc Multicast Routing Protocol utilizing Increasing id-numberS (AMRIS)

AMRIS[9]는 멀티캐스트 그룹에 다중의 송신원이 있는 경우 하나의 공유 트리를 통해 모든 송신원들의 데이터를 그룹 멤버들에게 멀티캐스트 하는 프로토콜이다. AMRIS는 하나의 공유 트리로서 송수신원을 모두 연결하므로 트래픽 부하 증가에 성능이 민감하게 영향을 받게 되고, 단일 경로를 통해 데이터를 전달하므로 이동성에도 민감하다.

### 3.5 AMRoute

AMRoute[10]는 멀티캐스트 그룹의 송신원과 수신원만으로 구성되는 양방향 공유 트리를 구성하여 데이터를 전달한다. 공유 트리 상에서 이웃 노드인 사용자(송, 수신원) 노드들은 MBONE에서 멀티캐스트 라우터들이 연결되는 방식과 유사하게 IP-in-IP 터널로 연결된다. 따라서, 멀티캐스트 그룹의 송수신원이 아닌 노드들은 AMRoute를 지원할 필요가 없고, 멤버 노드간에 유니캐스트 경로가 존재하는 한 이동성에 관계 없이 AMRoute의 멀티캐스트 공유 트리의 연결성은 유지된다. AMRoute는 AMRIS와 유사하게 공유 트리를 사용하므로 이동성에 민감하고, 사용자 노드만으로 구성되는 오버레이된 공유 트리가 비효율적으로 형성되거나 루프가 발생할 수 있다.

### 3.6 성능 비교

[11]에서는 풀러링, AMRoute, AMRIS, ODMRP, CAMP 다섯 가지의 프로토콜들의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였는데, 이동 속도, 송신원 수, 멀티캐스트 그룹의 규모, 트래픽 부하 등에 따라 이들 다섯 가지 프로토콜의 성능이 어떻게 영향을 받는지에 대한 결과를 보고 하였다. 이들이 제시한 결과에 의하면 종합적으로 매쉬 기반 프로토콜이 트리 기반 프로토콜에 비해 더 나은 성능을 보인다. 다중의 경로가 있음으로 해서 노드 이동에 대해 더 안정적으로 데이터 전달을 수행할 수 있기 때문이다.

## 4. IPv6 기반 모바일 Ad hoc 네트워크의 자동기술

### 4.1 Ad-hoc 유니캐스트 주소 자동설정

IPv6에서 이웃탐색 프로토콜 (Neighbor Discovery, ND)과 비상

태 주소 자동설정(IPv6 Stateless Address Autoconfiguration)을 이용하여 유니캐스트 주소를 설정할 수 있다 [12][13]. 이동 Ad hoc 네트워크인 MANET 환경에서 이동단말이 라우터이자 호스트인데, 모든 이동단말이 라우터 광고 (Router Advertisement, RA) 메시지를 주기적으로 송신하여 유니캐스트 주소를 설정하게 하는 기존의 IPv6 자동설정 방식은 한 링크 내에서만 동작하기 때문에 동적으로 망의 토폴로지가 변하는 Ad hoc 네트워크에는 부적합하다. 또한 기존의 이웃탐색 프로토콜은 Ad hoc 네트워크에서 새로 사용하려는 유니캐스트 주소의 중복성을 검사할 수 없으므로 이웃탐색 프로토콜을 확장해야 한다 [14][15]. Ad hoc 네트워크 환경은 외부 인터넷과는 독립된 임시망이기 때문에 Ad hoc 네트워크용 사이트 로컬 프리픽스(Site-local Prefix)를 정의하여 비상태 IPv6 주소의 자동설정 (IPv6 Stateless Address Autoconfiguration)을 통해 IP 네트워킹에 필요한 IPv6 유니캐스트 주소를 네트워크 인터페이스에 설정한다. [15].

### 4.2 IPv6 Ad hoc 멀티캐스트 주소 할당

IPv6 Ad-hoc 네트워크에서의 IPv6 멀티캐스트 주소 자동설정은 ETRI가 IETF에 제출하여 IETF IPv6 워킹그룹 드래프트로 채택된 'Link Scoped IPv6 Multicast Addresses <draft-ietf-ipv6-link-scoped-mcast-02>'를 기반으로 하여 구현되었다 [16]. 사이트 로컬 유니캐스트 주소와 사이트 로컬 멀티캐스트 주소의 포맷에 따라 생성되는 멀티캐스트 주소가 네트워크 프리픽스를 기반으로 하는 임시적으로 사용될 주소임을 나타내기 위해 Flags 필드의 P flag와 T flag를 모두 1로 설정한다 [15][16]. Subnet ID는 Ad hoc 네트워크 프리픽스를 구성하는 ffff값을 갖는다. Interface ID는 사이트 로컬 유니캐스트 주소를 설정할 때 사용된 하위 64 비트이다. 멀티캐스트 주소의 하위 32 비트인 Group ID는 IPv6 멀티캐스트 주소 할당 가이드라인 표준에서 제시된 바에 따라 최상위 비트가 T flag와 같은 값인 1을 갖도록 랜덤하게 생성된 값이어야 한다 [17]. 이렇게 구성된 멀티캐스트 주소는 사이트 로컬 범위의 Ad hoc 네트워크에서 유일성이 보장되는 주소이고 멀티캐스트 주소를 할당을 위해 주소 할당 서버를 필요로 하지 않는 장점이 있다. 따라서 본 고에서 제시하는 멀티캐스트 주소 할당기법은 Ad hoc 네트워크 환경에 적합하다.

### 4.3 Ad-hoc 네트워크에서의 DNS 서비스

인터넷이 정보통신의 기반 망으로 부각된 이후 최근에는 WLAN을 이용한 무선인터넷 서비스를 비롯하여 정보가전을 위한 홈 네트워크의 도입이 활성화되고 있고, 정보통신 인프라가 없는 환경에서 임시망을 구성하여 네트워킹을 제공하려는 Ad-hoc 망에서

의 네트워킹 기술 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. DNS 서비스는 인터넷 서비스에 가장 중요한 서비스 중의 하나로써 사용자 하여금 상대방의 도메인 네임(Domain Name)으로써 상대방의 IP 주소를 알 수 있게 한다. 이러한 DNS 서비스는 IP를 네트워크 프로토콜로 이용하는 망에서는 필수적이다. 그러나, Ad hoc 망과 같이 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 환경에서는 기존의 DNS 네임 서버 (Name Server)를 통해 DNS 서비스를 제공하기 어렵다. 따라서, 이러한 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크 관리자의 도움 없이 DNS 서비스를 쉽게 제공할 수 있는 네이밍 기법이 필요하다. MNR (Multicast Name Resolution)은 사이트 로컬 범위의 네트워크에서 DNS 서비스를 제공할 수 있도록 IETF DNSEXT 워킹그룹의 LLMNR (Link-Local Multicast Name Resolution)에 기반을 두고 개발되었다 [18-20].

#### 4.4 Ad hoc 네트워크에서의 서비스 위치 탐색

Ad hoc 네트워크에서의 서비스 탐색은 MNR과 DNS SRV 리소스 레코드 (Resource Record, RR)를 통해 제공될 수 있다. DNS SRV RR은 특정 서비스를 제공하는 서버의 IP 주소와 포트 번호를 알려주기 위해 정의되었다. 또, 인터넷에서의 서비스 위치 탐색을 위해 개발된 IETF 표준인 SLP (Service Location Protocol)을 통해서도 Ad-hoc 네트워크에서의 서비스 탐색을 수행할 수 있다.

## 5. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이 Ad Hoc 네트워크에서의 이동성에 대처하고 제한적인 파워와 프로세싱 능력으로 멀티캐스트 데이터 전달을 수행하기 위해 다양한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들이 제안되었다. 그러나, 이들 프로토콜에 대한 성능 조사 연구들을 살펴보면, 이동성 및 프로세싱과 파워의 제약성 이외에도 네트워크 규모, 멀티캐스트 그룹 크기, 송신권 수 및 이들 간의 상관 관계 등에 프로토콜의 성능이 매우 민감하게 영향 받음을 알 수 있다. 따라서, 실제적으로 Ad Hoc 네트워크에서 멀티캐스트가 수행되어야 하는 시나리오에 따른 일반적인 네트워크 규모, 그룹 크기, 송신권 수 등을 고려한 프로토콜의 설계, 혹은 이들 파라미터에 따라 유동성 있게 동작하는 프로토콜의 설계가 요망된다고 본다. 또한, 사용자들이 쉽고 편리하게 Ad hoc 네트워크를 사용할 수 있는 자동 네트워크 기술도 활발히 연구되어야겠다. 향후, Ad Hoc 네트워크에서의 신뢰성 있는 멀티캐스트 및 QoS를 지원하는 멀티캐스트를 위해 이들 고려한 프로토콜과 자동 네트워크 기술에 대한 연구도 앞으로 더 본격적으로 이루어져야 할 것이다.

## [참고문헌]

- [1] C. K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and System, Prentice Hall PTR, 2002.
- [2] C. E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001
- [3] A. Williams, "Requirements for Automatic Configuration of IP Hosts", draft-ietf-zeroconf-reqts-12.txt, September 2002.
- [4] IETF Zeroconf 워킹그룹,  
<http://www.ietf.org/html.charters/zeroconf-charter.html>
- [5] C. Ho, "Flooding Group Multicast Protocol in Multi-Hop Ad Hoc Networks": proc. Of DIALM'99, 1999
- [6] C. C. Chiang, M. Gerla, L. Zhang "Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks", Baltzer Cluster Computing, Vol. 1, No. 2, 1998
- [7] E. M. Royer and C. E. Perkins, "Multicast Operation of the Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol", Proc. Of MOBICOM '99, 1999
- [8] J.J.Garcia-Luna-Aceves and E.L.Madrig, "The Core-Assisted Mesh Protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, 1999
- [9] C.W.Wu, Y.C.Tay, and C.K.Toth, "Ad Hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS Functional Specification", Internet Draft, draft-ietf-manet-amris-spec-00.txt, 1998
- [10] R.Talpade, T.McAuley, J.Xie and M.Liu, "AMRoute: Adhoc Multicast Routing Protocol", to appear in ACM MONET Special Issue on Multipoint Communication in Wireless Mobile Networks.
- [11] S.J.Lee, W.Su, J. Hsu, M.Gerla and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols" proc. Of INFOCOM '00, 2000
- [12] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC2461, December 1998.
- [13] S. Thompson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC2462, December 1998.
- [14] Charles E. Perkins et al., "IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks", draft-perkins-manet-autoconf-01.txt, November 2001.
- [15] Jaehoon Jeong and Jungsoo Park, "Autoconfiguration Technologies for IPv6 Multicast Service in Mobile Ad-hoc Networks", 10th IEEE International Conference on Networks, Aug. 2002.
- [16] Jung-Soo Park and Myung-Ki Shin, "Link Scoped IPv6 Multicast Addresses", draft-ietf-ipv6-link-scoped-mcast-02.txt, July 2002.
- [17] B. Haberman, "Allocation Guidelines for IPv6 Multicast Addresses", RFC3307, August 2002.
- [18] 정재훈, 박정수, 김형준, "Unmanaged Network에서의 DNS 서비스와 서비스 탐색을 위한 Multicast Name Resolution의 설계 및 구현", JCCI2003, April 2003.