

# 인체센서네트워크 동향 및 Nano-WBAN 기술

곽경섭

인하대학교 정보통신공학부

## 요약

본고에서는 무선인체센서네트워크의 개념을 정립하고, WBAN (Wireless Body Network)의 표준화 동향, 문제점 그리고 향후 지속 가능한 연구 방향에 대하여 고찰하였다. 클라우드 컴퓨팅 환경은 인체센서 노드에서 고성능 슈퍼 컴퓨터에 이르는 다양한 범위의 서로 다른 장치를 연결하여 콘텐츠 중심의 서비스를 제공하게 될 것이며 이에 대한 이슈와 연구방향을 진단하였다. 나노기술로 인하여 나노미터 수준의 장치를 개발할 수 있을 것으로 예상되며, 이러한 나노장치 간 정보교환은 의료, 환경 및 군사 분야에서 떠오르는 나노 응용기술로 발전하게 되었다. 나노장치 사이의 정보전송을 전기자기학적(EM) 나노통신 및 분자레벨 나노통신으로 구분할 수 있으며 이들의 연구 방향을 통신 이론적 관점에서 고찰하고 분석하였다.

서는 신체 조직과 피부 조직에서의 각기 다른 경로 손실을 해결할 수 있는 방안에 대해 활발하게 연구되고 있다. 의료용 이식형 인체센서는 의료용 주파수 대역 (MICS: Medical Implant Communication Service)을 사용하고 있는데, 배터리 교환이 어렵기 때문에 효율적인 저전력 기술이 요구된다.

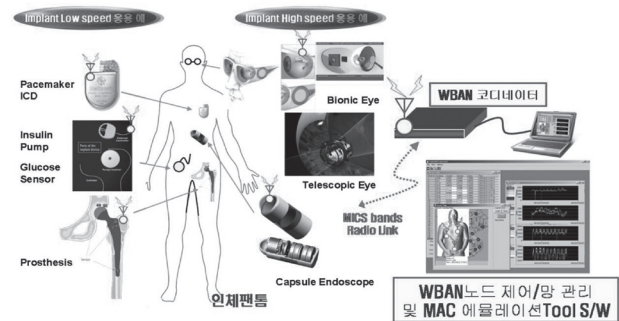


그림 1. 무선인체네트워크의 구성

## I. 서론

무선인체센서네트워크 (Wireless Body Network: WBAN) (<그림 1> 참조)은 인체 내 혹은 인체의 주위의 여러 디바이스 간을 연결하여 정보를 교환할 수 있는 새로운 유형의 무선 네트워크로써 다양한 기술이 복합적으로 융합되어 있다[1]. WBAN 응용 분야는 매우 다양하며, 심전도, 근전도 등의 사람의 생체 신호를 측정하여 무선으로 데이터를 전송하는 의료 (medical) 분야와 MP3 플레이어와 헤드셋을 무선으로 연결하는 형태의 비의료(non-medical) 분야에서 모두 사용된다. 의료용 WBAN은 생체 신호의 전달을 목표로 저속 데이터 전송과 전력 소모의 효율성이 요구되는 반면, 비의료용 WBAN은 오디오, 영상 등의 고속의 데이터 전송 속도가 요구된다. 의료용 WBAN은 인체 표면에 부착하는 센서와 인체 내부에 이식하는 센서로 구분하여 연구를 진행하고 있으며, 부착형 (wearable) 인체센서에서는 신호 감쇠나 차단에 의한 다중경로 문제와 이동성에 의한 영향이 연구되고 있고, 이식형 (implant) 인체센서에

인체 내의 응용분야로는 부정맥을 치료하기 위한 이식형 인공심장박동기와 이식형 심장충격 전자가 상용화되어 있으나 향후 다양한 기기 형태로 발전할 것이 예상된다. 그 예로써, 신경을 자극하여 만성 통증이나 암으로 인한 통증, 몸의 진단이나 근육긴장 이상 등의 신경계 문제를 치료하는 신경자극기 (Neuro stimulator), 캡슐형 내시경 (Capsule endoscope), 체내에 이식되어 약물을 전달하는 약물 펌프 (Drug pump), 그리고 당뇨 환자의 혈당을 측정하기 위한 혈당 센서 (Glucose sensor) 등이 있다.

IEEE802.15.6 표준화 단체는 WBAN(Wireless Body Area Network)을 표준화하기 위하여 2007년 11월에 Task Group을 구성하여, 기술요구사항을 정하고 2009년 5월부터 제안서를 접수하여 2012년 말에 표준화를 완성하였다[2]. ETRI는 의료용 및 인체 부착형 시스템 응용기술 연구를 2008년부터 시작하였으며, IEEE802.15.6 국제 표준화 회의에 삼성전자, 인하대학교 초광대역무선통신연구센터와 공동으로 참여하여, 한국을 대표하는 종합 대안 기술을 기고하였으며, 주요기술이 표준화 기술로 채택되었다. 이 표준에서 MAC 계층은 신체 내부 및 외부 주

위 영역에서의 각기 다른 주파수 대역(multi-PHY)을 사용하여 오락 및 의료/보건 제품 및 서비스의 진화된 조합을 만족시키기 위하여, 인체에 근접하게 또는 인체 내부에 사용되는 복잡하지 않고 저렴한 가격에 아주 낮은 소비전력, 고신뢰도의 무선통신을 지원하기 위한 것이다. 그러나 제정된 현재의 표준은 고용량의 영상정보 전송, 광역 정보서비스, 개인자료의 노출 및 프라이버시 문제, 신체에 미치는 부작용 문제 등과 매체접속제어 프로토콜의 복잡성 문제 등 새로운 문제점을 안고 있어 머지 않아 새로운 대안 표준기술을 제정할 것으로 기대되고 있다.

## II. 국내의 WBAN 환경변화

### 1. 무선 내시경 장치에서 저전력 UWB 기술

인체내부를 관통하는 전파는 의료용 400MHz 대역(MICS)을 사용하여야 한다. 저전력 UWB대역은 인체에는 해가 없으나 전력밀도가 매우 낮아 인체 통과시에 투과손실이 많아 인체내부 통신으로는 사용하기에 적합하지 못하다. 그러나 최근의 연구에 의하면, 저전력 UWB기술을 인체 내시경에 적용하였다. 고속 on-off VOC방식을 사용하여 비동기형 에너지 검출방식 UWB 트랜시버를 설계하였다[3]. 3mm × 4mm크기의 단일 칩으로된 0.18μm CMOS프로세스를 구현하였다. 저전력 2.5mW의 19Mbps데이터 속도, 40mA전류 1.8V 전원의 수신기를 설계하여 동물실험을 통하여 실시간 영상데이터를 내시경으로 부터 외부 장치로 전송하는데 성공하였다. 인체통신용으로 할당된 400MHz대역(MICS)은 대역폭인 협소하여 영상급 데이터를 전송하기에는 부적합하다. 그러나 UWB는 대역폭이 초광역이라 400Mbps이상의 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있어 다른 인체센서에서도 적용될 수 있을 것으로 사료되며 인체에 대한 보다 면밀한 연구와 다양한 응용제품에의 적용과 실용화가 기대된다[4].

### 2. 클라우드 환경 기반 WBAN

무선 인체 통신 네트워크(WBAN)는 소형의 이동성이 있는 다수개의 자율적 센서 노드로 구성되는데, 이들 센서 노드는 신체 기능 및 주변 환경을 관찰하는데 사용된다. 이와 같은 센서 노드는 환자의 위험 징후를 지속적으로 수집하며, 이러한 징후는 실시간 진단 및 처방을 포함한 유비쿼터스 건강 모니터링에 사용된다. 또한, 무선 인체 통신 네트워크는 재난 사건을 관리하는데 사용되며 인명구조 팀의 효율과 성과를 높일 수 있다. 기타 다른 잠재적인 애플리케이션은 대화형 게임, 소셜 컴퓨팅,

엔터테인먼트 및 군사용 애플리케이션을 포함한다. 무선 인체 통신 네트워크 노드가 수집한 방대한 양의 데이터는 확장가능하고, 요구 적응형인, 강력하고 안전한 저장장치와 처리용 하부구조를 필요로 한다.

클라우드 컴퓨팅은 위에서 언급한 목적을 달성하기 위하여 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 클라우드 컴퓨팅 환경은 소형 센서 노드에서 고성능 슈퍼 컴퓨터에 이르는 다양한 범위의 서로 다른 장치를 연결하여 사람 중심 및 콘텐츠 중심의 서비스를 개인 및 단체에게 제공한다. 무선 인체 통신 네트워크와 클라우드 컴퓨팅의 통합은 다수의 무선 인체 통신 네트워크에서 수집한 방대한 양의 데이터를 처리할 수 있는 실현 가능한 복합 플랫폼을 제공할 것이다. 이러한 클라우드 기반 무선 인체 센서 네트워크는 사용자((의사와 간호사를 포함한)로 하여금 경쟁력 있는 비용으로 정보처리 및 저장용 하부구조 전반에 접속할 수 있게한다.

무선 인체 통신 네트워크가 유용하고도 생명과 관련된 중요한 정보를, 분산되고 열악한 환경에서 클라우드에게 제공하기 때문에, 저장용 하부구조와의 악의적인 연동을 방지하기 위해서는 새로운 보안 메커니즘이 필요하다. 저장용 하부구조를 보호하기 위하여 클라우드 제공자 및 사용자는 모두 강력한 보안 조치를 취해야 한다.

기존의 인체센서네트워크를 클라우드 컴퓨팅환경에서 새로운 개념의 분산환경 하부구조가 요구되며, 악의적인 상호 연동을 방지하기 위한 강력한 보안메커니즘 등 이 분야의 새로운 연구 과제로 부상하고 있다.

### 3. 생체의료 센서망에서 EM Nano-WBAN 기술

나노기술로 인하여 수 나노미터에서 수 백 나노미터 수준의 장치를 개발할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 나노장치 간 정보교환은 의료, 환경 및 군사 분야에서 나노기술의 응용으로 떠오르는 미래 나노네트워크의 기술로 발전하게 되었다[5]. 나노장치의 설계 및 제조에 있어서의 많은 발전에도 불구하고, 이러한 매우 정교한 장치가 어떠한 방식으로 통신을 수행할 것인지에 대해서는 아직까지 명확하지 않다. 최근 그려낸 기반의 전자공학이 발전함에 따라, 테라헤르츠 대역(0.1 ~ 10 THz)에서 진행되는 나노장치 사이의 전자기(Electromagnetic: EM) 통신에 대한 새로운 장이 열리게 되었다.

나노통신, 즉, 나노장치 사이의 정보전송은 협동, 정보 공유 및 융합(fusion)을 통하여 개별 장치의 능력을 극대화 할 수 있다. 그 결과인 나노 네트워크는 나노기술의 응용범위를 더욱 확대시켜서, 생의학 기술(예를 들어, 협동 약물 전달 시스템), 환

경 연구(예를 들어, 분산 공기 오염 제어) 및 군사 분야(예를 들어, 화생방 방호를 위한 나노 센서 네트워크)를 위한 새로운 응용영역을 제공하고 있다.

고전적인 통신 패러다임은 이와 같은 새로운 시나리오에서 심도 있는 연구가 필요하다. 전자기(EM) 통신에 초점을 맞추어, 지금까지 현재의 EM 트랜시버의 소형화를 위한 지대한 발전이 있었다. 그러나, 기존의 해결방안에는 크기, 복잡도 및 에너지 소비와 같은 나노 규모의 응용에 직접 적용하기에는 많은 한계가 있고, 이로 인하여 나노장치 사이에서 EM통신이 타당한지에 대한 의문이 제기되었다. 현재 기술의 가장 큰 문제의 일부를 해결하기 위하여, 새로운 나노 물질을 나노 전자 부품의 새로운 세대의 빌딩블록으로 사용하는 것을 구상하고 있다. 이외에도, 그래핀과 이의 파생물질, 즉 탄소 나노튜브(Carbon Nanotubes: CNT)와 그래핀 나노 리본(Graphene Nanoribbons: GNR)이 21세기 실리콘의 유력한 후보 중 하나가 되었다.

통신의 관점에서, 이러한 물질에서 EM 방사선을 방출하기 위한 특정 대역폭, 방출의 시간 지연 및 주어진 입력 에너지에 대한 방출 전력의 세기를 결정해야 한다. 미래의 EM 나노 네트워크의 동작을 위한 주파수 대역을 예측하기 위하여, 그래핀의 방사선 성질의 특징을 규명할 필요가 있다. 현재까지, 무선 주파수 및 광기술의 관점에서 일부 연구가 수행되고 있다. 이 두 가지 기술동향의 주요한 차이는 나노 규모의 안테나에서 방출되는 고주파 공진파 또는 광 나노 에미터에서 방사되는 저전력 광자의 측면에서의 방사선에 대한 연구가 필요하다. 각각의 기원은 다르지만, 이 두 가지 접근 방법은 테라헤르츠 대역을 미래의 나노 전자기(EM) 트랜시버의 동작 주파수 대역으로 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

의료용 응용을 위한 나노 규모의 전자기 통신에 테라헤르츠 대역활용에 대한 채널특성, 전파모델, 잡음지수, 채널용량 등의 특징을 파악하는 연구가 필요하며 일부 연구결과들이 발표되고 있다[6].

나노 규모의 통신을 위한 테라헤르츠 대역의 잠재력을 정량화하기 위한 가장 일반적인 성능 척도는 채널 용량이다. 전체 경로 손실과 시스템의 잡음은 신호 주파수, 전송 거리 및 채널의 분자 성분에 의하여 결정되고, 반면에, 전송되는 신호의 전력밀도에 따라 서로 다른 분포를 가질 수 있다.

최근 그래핀 기반의 나노 전자공학의 발전으로 인하여 1psec(초) 이하의 극초단(Ultra-short) 펄스의 전송 가능성이 제기되었고, 이러한 종류의 펄스는 주로 테라헤르츠 주파수 대역 이내로 제한된다. 이러한 결과를 바탕으로, 초광대역(Ultra-wide Band)통신 시스템과는 유사하지만 나노 규모를

위한 테라헤르츠 대역의 극초단 펄스에 기반한 나노 규모의 네트워크를 위한 통신기술이 새로운 기술로 부상하게 되었으며 많은 연구가 필요하다. 실제적인 구현과 분자 전자공학의 첨단 기술의 관점에서, 극초단 범위의 펄스전송에 기반한 통신기술을 활용하면, 나노미터 수준의 거리에서 사용할 수 있는 초광대역을 효율적으로 이용할 수 있을 것이다.

#### 4. 생체이로 센서망에서 분자 Nano-BAN 기술

최근, 나노 및 생명공학이 발전함에 따라 인체의 세포간 또는 세포내의 영역에서 동작하는 치료용 나노기기(Nanomachine: NM)의 사용이 가능하게 되었다[7]. 또한, 이러한 치료용 나노기기의 네트워크, 즉, 인체 나노 네트워크(Body Area Nano-Networks: nano-BAN)는 정교한 나노의학의 응용(application)에 큰 변화를 초래하고 있다.

초기의 나노의학과는 달리, 합성 생물학 및 나노로봇 기반의 응용은 복잡한 질병의 치료를 획기적으로 변화시킬 수 있다. 이러한 응용에서, 치료용 나노기기의 nano-BAN은 분자통신을 통하여 계산 및 논리 연산을 수행하고 복잡한 질병을 치료하기 위한 의사결정을 수행할 수 있다. 합성 생물학에서, 분자통신 시스템은 합성세포 집단을 시간과 공간 상에서 제어하도록 설계되었다. 방송 및 수신 메신저 분자를 이용하여, 분자통신은 예측할 수 있는 집단역학(population dynamics)이 가능하게 된다[8]. 예를 들어, 참고 문헌 [9]에서, 분자통신 시스템은 유전공학적으로 조작된 세포가 일정한 공간패턴을 형성하는 것을 허용하도록 제안되었다. 화학 신호인 아크릴 호모세린 락톤(Acyl-homoserine lactone: AHL)이 송신 세포에 의하여 합성되어 매체로 방출되고, 대역 검출 유전자 네트워크(band-detect gene network)를 가지는 수신 세포는 링 형태의 토폴로지를 형성하여 임계 AHL 농도(threshold AHL concentration)에 대하여 반응한다. 주어진 분자통신 시스템은 세포조직 공학, 바이오 물질 제조 및 바이오 센싱과 같은 유망한 나노의학 응용으로 발전할 것으로 기대된다. 참고문헌 [10]은 산화질소 신호 요소를 이용하는 셀간 분자 통신 시스템을 소개하고 있다. 주어진 시스템은 변형 세포 집단을 조율하고 프로그래밍하기 위한 합성 유전자 회로(synthetic genetic circuit)의 가능성을 높이는 것을 목표로 하고 있다. 이는 또한 유전자 요법 응용에서 유용한 도구로 사용될 수 있다.

이와 유사하게, 나노 로봇 기반의 나노의학 응용은 신뢰할 수 있고 제어할 수 있는 작동을 위하여 나노로봇의 nano-BAN 기술을 요구한다. 나노로봇의 집합적인 통신수단은 동작의 성공 가능성을 높일 수 있다.

### 4.1 채널모델과 전송률

반송자(Carrier) 분자의 전파방식에 따라, 분자통신은 수동 수송 및 능동 수송을 이용하는 두개의 주요 그룹으로 분류된다. 수동 수송에서, 정보는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 반송자 분자의 자유 확산을 통하여 송신 나노기기 (TN)에서 수신 나노기기 (RN)으로 전달된다. TN이 채널로 분자를 방출하고, 방출된 분자는 매체 내부로 자유롭게 확산된다.

이들 분자의 일부는 전기화학적으로 RN의 리셉터와 상호작용을 한다. 이러한 전기화학적 접촉으로 인하여 전송된 정보가 수신된다. 능동 수송에서, 분자 정보는 <그림 3>에서 보는 바와 같이 분자 레일(Rail) 또는 마이크로 미소관(tubule)내의 분자 모터(예를 들어, 키넥신)를 이용하여 활발하게 교환이 이루어지게 된다.

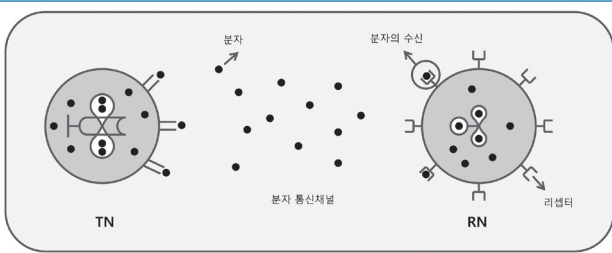


그림 2. 정보수송 분자의 수동수송을 이용하는 분자 통신채널

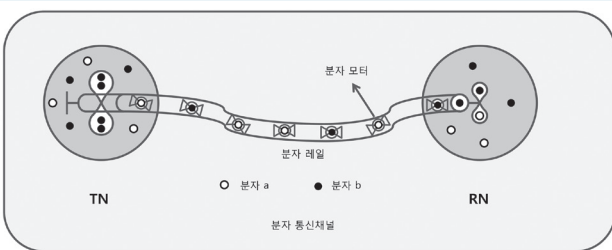


그림 3. 정보수송 분자의 능동수송을 이용하는 분자 통신채널

### 4.2 수동 수송을 이용하는 분자 통신

기존의 무선 통신에서, 정보 메시지는 이진레벨(즉, 비트 0과 1)로 부호화된다. 이러한 비트는 각각 송신기와 수신기에 의하여 전송 및 수신되는 두 개의 다른 신호 레벨에 해당된다. 이와 유사하게, 수동 수송을 이용하는 분자 통신 채널은 대부분 0 및 1 두 개의 비트를 가지는 이진 채널로 모델링 된다[11]. 이진 채널 방식에서, 비트 1을 전달하기 위하여 단일 분자 또는 복수의 분자가 TN에 의하여 주어진 타임슬롯의 시작 부분에서 전송된다. 분자 또는 임계 농도가 슬롯 지속기간 내에 RN에 도달하면, RN은 비트 1을 정확하게 수신한다. 그렇지 않으면, RN은 오류인 비트 0를 수신하게된다. 비트 0를 전달하기 위하여, TN은 슬롯 지속기간 내에 분자를 전송하지 않는다. 그러나, 비트

0이 전송되는 경우, 바로 전 슬롯 구간에서 방출된 분자가 이후에 RN에 도달할 수 있다. 비트 0를 전달하는데 있어서 이는 분명히 오류가 된다. 이러한 오류를 줄이기 위하여, 이진 채널 방식을 수정하여 단일 비트의 전송을 두 개의 슬롯 지속기간으로 연장한다. 즉, 00, 01, 10 및 11은 비트 0와 1을 전달하기 위하여 전송된다. 그 결과의 채널을 '4입력-2출력' 채널이라고 한다 [12].

<그림 4>에서, TN과 RN 사이의 노드간 거리를 변경하면서 이진 및 '4입력-2출력' 채널방식이 각각 제공하는 전송률을 비교하고 있다. '4입력-2출력' 채널 접근 방식은 단일 비트 전송의 지속기간을 현명하게 연장시켜 오류를 줄여주기 때문에 이진 채널방식에 비하여 분명히 성능이 우수하다. 노드간 거리의 값이 작은 경우에 (즉, 0.1~0.5 $\mu$ m) '4입력-2출력' 채널은 전송률을 약간 높지만, 비교적 거리가 먼 경우에는 전송률이 상당히 개선된다. 이러한 결과로, 노드 사이의 거리가 상대적으로 가깝지 않은 나노의학 응용에는 '4입력-2출력' 채널이 더 적합할 수 있다. 이진 및 '4입력-2출력' 채널방식과는 별도로, 분자 전송의 세 가지의 단계 (즉, 분자 방출, 확산 및 수신)를 단일 채널 모델로 통합함으로써 수동 수송을 분석적으로 모델링 할 수 있다[13].

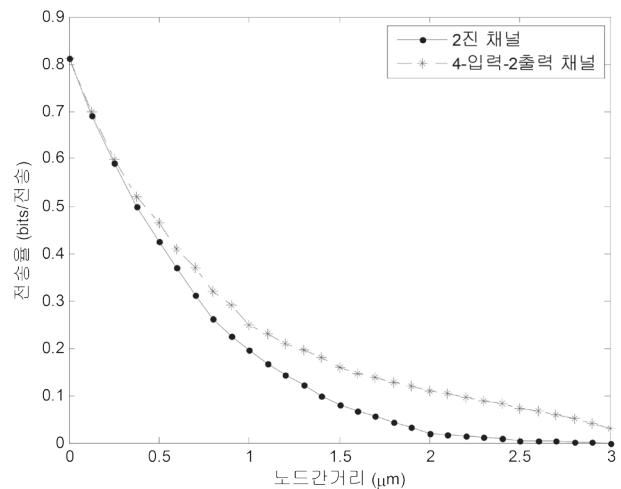


그림 4. 노드간 거리 변화에 따라 이진채널 및 4입력-2출력 채널이 제공하는 전송률

### 4.3 능동 수송을 이용한 분자 통신

능동 수송의 통신성능은 대부분 오류확률에 의하여 결정된다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 TN에 의하여 분자 모터에 적재되는 분자는 품질이 저하되어 오류 확률  $p_e$ 로 RN에 도달하지 못하는 것으로 가정한다. n개의 독립 분자가 사용될 경우, n개의 분자 각각은  $(1-p_e)$ 의 확률로 RN에 성공적으로 도달하거나,

$p_e$ 의 확률로 RN에 도달하지 못하게 된다. 따라서, 이러한 능동 수송 채널은  $n$ 차 소실 채널( $n$ -ary erasure channel)로 모델링할 수 있고, 이러한 채널의 전송률은  $(1-p_e)\log(n)$ 로 주어질 수 있다.

〈그림 5〉에서,  $n$ 차 소실채널의 전송률은 채널에서 사용되는 다양한 독립 분자의 수(즉,  $n$ )에 따라 다른 값으로 나타난다. 이러한 전송률은 분명히  $n$ 에 따라 증가할 수 있다. 〈그림 4〉와 〈그림 5〉의 수치적 결과를 비교하면, 더 높은 전송률을 제공하는 점에서 능동 분자 통신이 수동 분자 통신보다 더 적합하다고 결론지을 수 있다. 그러나, 능동 분자 통신은 항상 기반구조(즉, 분자 레일 및 모터)를 필요로 한다. 반면에, 수동 분자 통신은 이러한 제한에 영향을 받지 않는다. 실제로, 치료용 나노기기는 나노의학 응용에서 간단한 정보 콘텐츠를 처리하고 공유하기 위하여 높은 전송률을 필요로 하지 않을 수 있다. 따라서, 사전에 구축된 기반구조가 없을 경우 능동 분자 통신을 선호하지 않을 수도 있다.

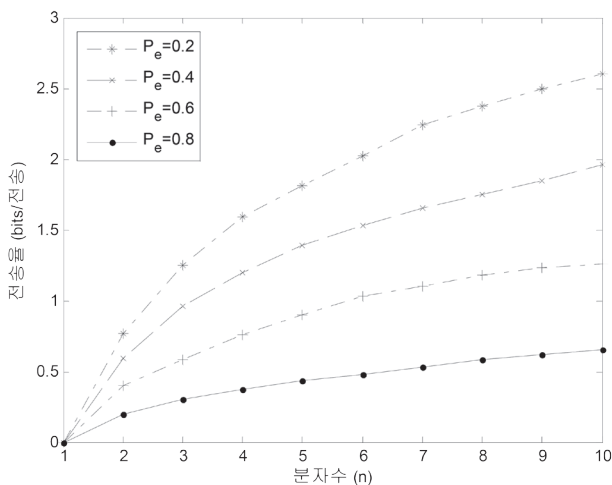


그림 5.  $n$ 차 소멸채널에서 이용되는 독립분자의 수의 변화에 따른 전송률(주어진 채널오류확률  $p_e$  값)

#### 4.4 채널 잡음

분자 통신채널에서 통신잡음의 특성은 기존의 무선 통신채널과는 매우 다르다. 확산 기반 분자 통신 시스템에서의 분자 잡음의 이론적인 모델은 참고문헌 [14]에서 소개되었다. 분자 통신 성능에 대한 잡음의 효과는 다양한 분자의 전송, 전파, 부호화 그리고 복호화 메커니즘을 고려하여 분석된다[15]. 잡음의 정확한 이론적 모델을 위하여 세포내 또는 세포간 프로세스에서 본질적으로 관찰되는 생물학적 소음[7]을 함께 고려해야 한다. 또한, 분자 통신채널의 용량을 파악하기 위하여 잡음 프로세스의 확률 분포를 찾아야 한다. 실제로, 참고문헌[16]에 소개

되는 바와 같이, 잡음신호는 통계적으로 채널 입력과 연관되어 있다. 따라서, 분자 통신채널의 정보 이론적 특성을 조사하기 위하여 채널 입력과 잡음은 함께 고려되어야 한다. 또한, 방출되는 분자는 수신될 때까지 매체 내에서 지속적으로 확산되기 때문에, 잡음의 과도기적 및 점근적인 행동도 조사할 필요가 있다.

#### 4.5 나노 머신의 배치 및 토폴로지

〈그림 5〉에서 볼 수 있듯이, 분자 통신의 용량은 통신 거리의 영향을 대단히 많이 받으므로, 분자 통신의 용량은 통신 거리에 따라 감소한다. 따라서, 나노 의학 응용에서는 매우 섬세한 경로를 따라 신뢰성 있게 메시지를 전달하기 위하여, 밀집되게 나노 머신을 배치하는 것이 매우 중요하다. 한편, 일부 나노 의학 응용은 이동 나노 머신을 필요로 할 수 있다. 에드 혹(ad hoc) 노드의 기존 이동성 모델과는 달리, nano-BAN에서 나노 머신의 이동성은 브라운 운동과 같은 매우 다른 법칙의 지배를 받는다. 예를 들어, 참고문헌[16]에서, 이동하며 통신하는 적혈구로 구성되는 자연 면역 네트워크(natural immune network)의 영향을 받는 에드 혹 이동 분자의 나노 네트워크에 대하여 전송률을 유도하였다. 나노기기 사이의 분자 통신은 이동 나노기기의 무작위 충돌에 의하여 제공된다고 가정한다. 전송률 표현의 해석적 평가에 의하면, 이동 나노 머신을 포함하는 nano-BAN은 충분히 높은 전송률을 성취할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 일부 나노 의학 응용은 일정한 토폴로지를 필요로 할 수 있다. 예를 들어, 심장 발작을 조기에 발견하기 위하여 인체의 매우 중요한 일부 지점에 nano-BAN을 배치할 수 있다. 이러한 응용에서, 단-대-단 통신 지연을 최소화하여 예상되는 발작이 발생하기 이전에 관찰할 수 있도록 모든 통신 파라미터는 주어진 토폴로지와 관련하여 제어되어야 한다.

#### 4.6 계산, 논리 연산 및 의사결정

복잡한 나노 의학 응용에서, 치료용 나노기기의 nano-BAN은 계산 및 논리 연산을 수행하며, 복잡한 질병을 치료하기 위하여 의사결정을 하게된다. 예를 들어, 자율 생체분자 컴퓨터(autonomous biomolecular computer)는 메신저 RNA의 레벨을 분석하고 분자를 생성하여 유전자 발현 프로세스를 논리적으로 제어하도록 설계된다[17]. 그러나, 중앙 제어기의 결여로 인하여, 이러한 응용에서는 모든 작동이 분자 통신을 통하여 나노기기의 자가 조직화(self-organization)의 관리가 필요하다. 이러한 작동에서, 분자 통신의 신뢰도는 계산 및 논리 연산에 있어서 상대적으로 낮은 오류를 제공하기 위하여 매우 중요하다. 따라서, 이러한 나노 의학 응용을 위하여, 신뢰할 수 있고

오류를 수용할 수 있는 분자 부호화 및 복호화 기술을 개발해야 한다. 또한, nano-BAN에서 나노기기의 궁극적인 계산 능력을 조사하기 위하여 협력적 네트워크 정보이론을 이용할 수도 있다. 계산 속도를 줄이기 위하여 분자의 정보 흐름을 수식으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 참고문헌[18]에서 나노 네트워크에서의 분자 정보 흐름을 체계화하였고, 이러한 체계화는 nano-BAN의 계산적 특성을 조사하기 위하여 이용될 수 있다.

#### 4.7 매체 접속(MAC) 및 라우팅(Routing)

정보 이론상의 한계에 가까운 통신 성능을 달성하기 위하여, 효율적인 네트워킹 기술이 요구된다. 자가 조직화를 하는 NM의 매우 낮은 메모리와 처리 능력으로 인하여, 기존에 개발된 알고리즘은 최소 수준의 계산상 복잡도를 가진다. 참고문헌 [14-17]에서, 분자 다중접속 채널의 통신 성능이 조사되어 있다. 서로 다른 나노기기는 반드시 수신 측에서 구분할 수 있도록 다른 종류의 분자를 이용하여 매체에 접속해야 한다는 것을 분석적 평가에서 알 수 있다. 이는 다수의 나노기기가 동일한 채널에 접속하기 위하여 동일한 종류의 분자를 이용할 경우 각각의 나노기기에 할당된 통신 대역폭이 거의 0으로 떨어지기 때문이다[16]. 또한, nano-BAN를 위한 효율적인 라우팅 알고리즘을 개발하기 위하여, 방출되는 분자의 방향성을 조사해야 한다. 실제로, 브라운 운동 법칙에 따라 단일 분자가 모든 방향으로 확산될 수 있다. 그러나, 드리프트 속도를 사용하여 분자가 특정 방향으로 향하도록 할 수 있다. 따라서, 효율적인 라우팅 알고리즘을 개발하기 위하여 드리프트 속도와 경로를 동시에 고려해야 한다. 분자의 전파 속도가 매우 낮기 때문에, 라우팅 알고리즘은 적절한 지연을 수용할 수 있어야 한다. 예를 들어, 나노기기의 전송 기술을 나노기기의 이동성 패턴에 따라 조절하는 방법으로 높은 지연을 수용하기 위하여 나노기기의 이동성을 이용할 수 있다. 이러한 전송 기술은 지연을 감소시킬 수 있다.

### III. 결론

클라우드 컴퓨팅 환경은 소형 센서 노드에서 고성능 슈퍼 컴퓨터에 이르는 다양한 범위의 서로 다른 장치를 연결하여 인간 중심 및 콘텐츠 중심의 서비스를 개인 및 집단에게 제공한다. 무선인체센서 네트워크와 클라우드 컴퓨팅의 통합은 다수의 무선인체센서 네트워크에서 수집한 방대한 양의 데이터를 처리할 수 있는 실현 가능한 복합 플랫폼을 제공할 것이다. 무선인체

센서 네트워크가 유용하고도 생명과 관련된 중요한 정보를 분산되고 열악한 환경에서 동작가능한 클라우드에 제공하기 때문에, 저장용 하부구조와의 악의적인 상호연동을 방지하기 위해서는 새로운 보안 메커니즘이 요구된다. 기존의 인체센서네트워크를 클라우드 컴퓨팅환경에서 새로운 개념의 분산된 환경의 하부구조와 악의적인 상호연동을 방지하기 위한 강력한 보안메커니즘 등 이 분야의 새로운 연구과제로 부상하고 있으며 지속 가능한 연구가 필요하다.

나노 기술 분야에서의 나노의학 분야는 계속하여 진화하며 발전하고 있으며, 나노 의학에서의 진화와 개발 속도는 분자 통신을 통하여 더욱 현실화될 수 있을 것으로 예측된다. 나노기기의 상호 연결을 통하여 분자 통신을 이용하는 나노-BAN의 개념은 새로운 지속가능한 연구분야이며 향후 많은 문제점을 해결하여야 할 것이다. 나노 네트워킹 이슈뿐만 아니라, 채널 용량, 배치 그리고 토폴로지와 같은 통신이론의 확립에 대한 많은 노력이 필요하다. 분자 통신을 수행하는 nano-BAN 기술은 미래의 나노 의학에서 제어할 수 있고 신뢰할 수 있으며, 효율적인 융합적 활용을 제공하기 위하여 필요하며 유망한 연구 분야이다.

#### Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No.2010-0018116).

### 참고 문헌

- [1] Sana Ullah, Kyung Sup Kwak, et al., "A Comprehensive Survey of Wireless Body Area Networks: On PHY, MAC and Network Layers Solutions," Journal of Medical Systems vol.36, no.3, June, 2012, pp.1065-1094.
- [2] IEEE P802.15.6/D04
- [3] Yuan Gao, Shengxi Diao, Chyuen-Wei Ang, Yuanjin Zheng and Xiojun Yuan, "Low Power UWB Telemetry Systemfor Capsule ENdoscopy Application," 2010 IEEE Conf., on Robotics, Automation and Mechatronice, pp96-99, 2010.
- [4] G. Iddan, G.Meron and A. Glukhovasky, "Wireless capsule endoscopy," Nature, Vol.415, pp.417, 2000.
- [5] Ian F. Akyildiz, et. al., "Nanonetworks: A new communication paradigm," Communication networks,

- 52, 2260–2279, 2008
- [6] Josep Miquel Jornet and Ian F. Akyildiz, "Channel Capacity of Electromagnetic Nanonetworks on the Terahertz Band," IEEE ICC 2010, 2010.
- [7] P. E. M. Purnick and R. Weiss, "The Second Wave of Synthetic Biology: from Modules to Systems," Nature Reviews Molecular Cell Biology, vol. 10, 2009, pp.410–22.
- [8] R. A. Freitas, "Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics," J. Computational and Theoretical Nanoscience, vol. 2, 2005, pp. 1–25.
- [9] S. Basu et al., "A Synthetic Multicellular System for Programmed Pattern Formation," Nature, vol. 434, Apr. 2005, pp. 1130–34.
- [10] W.-D. Wang et al., "Construction of an Artificial Inter- Cellular Communication Network Using the Nitric Oxide Signaling Elements in Mammalian Cells," Experimental Cell Research, vol. 314, no. 4, Feb. 2008, pp. 699–706.
- [11] B. Atakan and O. B. Akan, "On Channel Capacity and Error Compensation in Molecular Communication," Springer Trans. Computational Sys. Biology, vol. 10, Feb. 2008, pp. 59–80.
- [12] D. Arifler, "Capacity Analysis of A Diffusion-based Short-Range Molecular Nano-Communication Channel," Computer Networks, vol. 55, no. 6, Apr. 2011, pp. 1426–34.
- [13] M. Pierobon and I. F. Akyildiz, "A Physical Channel Model for Molecular Communication in Nanonetworks," IEEE JSAC, vol. 28, no. 4, May 2010, pp. 602–11.
- [14] X. Gao et al., "In Vivo Molecular and Cellular Imaging with Quantum Dots," Current Opinion in Biotech., vol. 16, no. 1, Feb. 2005, pp. 63–72.
- [15] M. Moore, T. Suda, and K. Oiwa, "Molecular Communication: Modeling Noise Effects on Information Rate," IEEE Trans. Nanobioscience, vol. 8, June 2009, pp. 169–80.
- [16] A. Guney, B. Atakan, and O. B. Akan, "Mobile Ad Hoc Nanonetworks with Collision-Based Molecular Communication," to appear, IEEE Trans. Mobile Computing.
- [17] Y. Benenson et al., "An Autonomous Molecular Computer for Logical Control of Gene Expression," Nature, vol. 429, May 2004, pp. 423–29.
- [18] B. Atakan and O. B. Akan, "Deterministic Capacity of Information Flow in Molecular nanonetworks," Nano Communication Networks, vol.1, no. 1, Mar. 2010, pp. 31–42.

## 약 력



곽 경 섭

1988년 미국 Univ. of California(San Diego) 박사  
 1988년~1989년 미국 Hughes Network Systems, 연구원  
 1989년~1990년 미국 IBM, Network Analysis Center 연구원  
 1990년~현재 인하대 정보통신공학부 석좌교수 (FP)  
 2000년~2002년 인하대학교 정보통신대학원 원장  
 2006년 한국통신학회 회장  
 2009년~2009년 한국ITS학회 회장  
 2007년~현재 인천 u-City포럼 수석부의장 및 운영위원장  
 2003년~현재 인하대학교 초광대역무선통신연구 센터 센터장  
 2012년~현재 (사)인천스마트시티협회 회장  
 관심분야: Mobile Communication Systems, UWB Radio Systems, Wireless Sensor Networks, WLAN/WPAN/WBAN