

양자기술과 미래 무기체계 발전전망

김소연, 이정태, 오세준

국방과학연구소

e-mail:comet613net@daum.net

Quantum Technologies based Future Weapon Development Directions

Soyeon Kim, Jung-Tae Lee, Se Jun Oh

Agency for Defense Development

요 약

현대기술의 한계를 뛰어넘을 것으로 예측되는 양자기술은 미래 핵심기술로 급부상하고 있으며, 세계 주요국은 양자기술을 통해 미래로 도약하고자 노력 중이다. 본 논문에서는 양자기술에 이용되는 양자의 주요특성, 국내외 양자기술 동향 및 현황에 대해 살펴본 다음, 양자기술에 기반한 미래 무기체계 전망에 대해 기술한다. 마지막으로 향후 미래전을 대비한 양자기술 확보의 중요성과 확보방안에 대해 간략히 언급하고 결론을 맺는다.

1. 미래의 핵심기술 양자기술

양자기술은 양자역학에 기반하고 있다. 뉴턴에 의해 정립된 고전역학은 “모든 물질은 측정 가능한 확실한 상태를 지니고 있다”는 이론에 기초한 반면, 양자역학은 “미시세계에서 물질(양자)의 상태는 확률 상태로 존재하는 불확실한 것이다”는 이론을 기반으로 한다. 이와 같은 양자 특성을 이용하여 기존기술의 한계를 극복하고자하는 신기술이 양자기술이다.

2. 양자의 주요 특성

2.1 양자 중첩

양자 중첩이란 양자의 상태(0 또는 1)가 확률적으로 동시에 존재하고 측정하기 전까지 정확한 상태를 알 수 없는 특성을 의미한다. 양자 중첩상태를 병렬회로로 구성하면 한 순간에 여러 상태를 얻을 수 있게 되고(000, 001, 011.. 등), 이를 보다 고도화하면 대규모 병렬 계산이 가능하다. 이것이 고전 컴퓨터의 한계를 뛰어 넘는 초고속 양자컴퓨터의 원리이다.

2.2 양자 얽힘

양자 얽힘이란 둘 이상의 양자가 가지는 상관관계로 두 양자 쌍이 거리가 무관하게 떨어져 있어도 상관관계가 존재하는 특성이다. 얽힘 양자 중 하나가 송출되어 원거리 표적에 반사되어 상태가 변한다면, 송신지에 남아있는 다른 양자도 같은 상태로 변하게 된다. 이는 양자 레이다가 저피탐/스텔스 표적을 탐지하는 기본 원리로 이용된다.

2.3 불확정성과 비가역성

양자 불확정성이란 한 양자가 갖는 서로 다른 물리량(위치와 운동량 등)은 동시에 정확하게 측정이 불가능하다는 것이다. 이는 암호 통신에서 매우 중요하게 이용되는 암호키/정보 측정불가, 복사불가 특성으로 양자 암호 통신의 대표적인 특성이다. 비가역성은 한번 측정된 양자의 상태는 관측 후에는 이전 상태로 복원이 불가능하다는 특성으로 불확정성과 더불어 양자 암호 통신에 중요하게 이용된다.

3. 국내외 양자기술 동향 및 현황[1][2]

3.1 미국

2009년 국가양자정보과학비전을 수립/발표하고, 2016년 7월 양자정보과학 발전계획을 수립하는 등 양자기술 관련 중·장기 정책을 통해 차세대 정보기술로 양자기술 경쟁력 확보에 주력하는 중이며, 구글, IBM 등 글로벌 IT 기업에서도 자체적으로 기술(양자 인터넷 등) 개발 중이다. 또한, 2019년부터 10년 동안 ‘국가 양자 집중지원법(National Quantum Initiative)’을 통해 양자기술 전 분야에 전반기 5년에만 1.5조 원가량을 투자하기로 했다.

3.2 유럽연합(EU)

2006년 공동협력 프로젝트로 ‘퀀텀 유럽(Quantum Europe)’을 발표하고 새로운 중장기 연구개발 프로젝트로 ‘퀀텀 매니페스토(Quantum Manifesto)’를 발표하였다. 이후, ‘양자기술 플

래그십(Quantum Technologies Flagship)' 정책을 통해 2018년부터 10년 동안 총 1.3조 원의 연구비를 지원하기로 했다.

3.4 중국

중국은 '양자굴기'를 내세우며 빠르게 미국을 추격 중이다. 2017년 국립양자과학연구소를 설립해 2022년까지 17조원을 투자하고 있고, 2016년 양자통신위성(묵자호)을 발사해 베이징-비엔나간 7600km 양자 전송에 성공했다. 양자컴퓨팅, 양자센서 분야에서도 미국을 뒤쫓는 중이다. 또한, 양자 정보 과학 국립연구소 설립을 필두로 양자기술 전반에 대해 총 12조 원 규모의 지원을 할 계획이다.

3.5 일본

일본도 양자기술을 인공지능(AI)·바이오와 더불어 3대 전략기술로 지정해 집중 육성하고 있다. 2010년 NICT¹⁾ 주도로 동경에서 양자암호 시험망을 구축하면서 양자 통신 기술 사용화를 추진 중이다.

3.5 국내

국내 양자기술 수준은 선진국 대비 약 81.3%에 불과하며 전체 ICT 기술 중 최하위 수준이다. 이에 정부는 2030년대 양자기술 분야 4대강국 진입을 목표로 양자기술 분야에 대한 투자와 연구를 집중하고 있다. 2019년부터는 연구재단, 정보통신기획평가원(IITP) 주관으로 양자기술 전 분야에서 약 5년간 총 1,000억 원가량의 지원이 이루어질 계획이며, 중력계, 자력계, 이미징, 광원 등 5개 양자 센싱 프로젝트가 진행 중이다. 또한, 양자 정보 분야 초기 생태계 확보 정도와 국내외 연구를 바탕으로 연구비 규모를 확대해 나갈 것으로 기대된다.

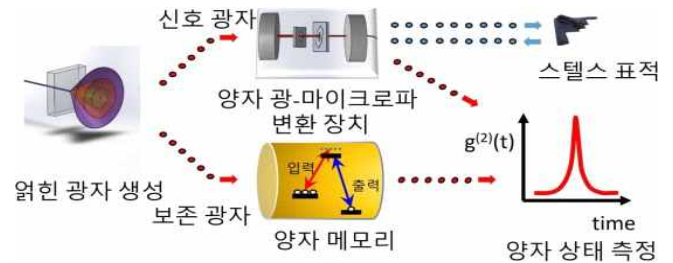
4. 양자기술 기반 미래 무기체계

4.1 양자 레이더

4.1.1 양자 레이더 원리

양자 레이더를 구현하기 위한 주요 핵심 기술로는 양자 정보를 생성하기 위한 양자 상태 생성, 생성된 양자 정보 저장, 장거리 양자 정보 송수신을 위한 광학적 광자와 마이크로 광자간의 양방향 변환 및 양자 상태 정밀 측정 기술 등이 있다.

기존 레이더는 표적에 전파를 쏘아 그 반사파를 보고 표적을 탐지하는 데 반해, 양자 레이더는 섬유 커플러, 양자점 등을 사용해 얽힌 양자를 쏘아 표적을 탐지한다. 얽힌 양자가 표적에 반사되어 양자 레이더로 되돌아오면, 거기에 걸리는 시간을 통해 표적의 위치, 레이더 반사 단면적, 속도, 방향, 기타 속성을 추론할 수 있다.



[그림 1] 양자 레이더 원리[3]

4.1.2 양자 레이더 현황

가. 현황

미국 로체스터대학 광학연구소는 2012년 국방부의 지원을 받아 최초로 양자레이더를 연구·개발하는데 성공했다. 이후, F-22/F-35 스텔스 전투기 및 러시아 주변국 차세대 전투기에 대응하기 위한 광자 레이더 연구를 지속적으로 진행 중이다. 또한, DARPA에서는 양자 레이더 관련 여러 과제가 진행 중이거나 계획 중인 것으로 식별되었으나, 과제내용이 공개되지 않아 그 실체는 파악이 어려운 실정이다.

2016년 9월 중국 전자과기집단공사(제 14연구소)는 세계 최초로 단광자 검출 기술에 기반을 둔 양자 레이더 시스템을 개발했다고 발표했다[4]. 실제 대기 환경에서 목표물 탐지 실험을 한 결과 양자 레이더 탐지 범위는 100km급이었으며 탐지 정밀도가 기존 레이더보다 큰 폭으로 개선되는 등 연구에서 중대한 성과를 얻었다고 전했다. 그러나, 미국 등 세계 주요국은 그 진위여부에 대해 의구심을 지니고 있다.

이탈리아 INRIM는 얽힌 양자 광원을 이용한 양자조명 실험을 수행 중이며, CNIT는 '19.9월 이중대역(dual-band) 광자 레이더 응용연구를 완료하고 항공기 표적을 대상으로 광자 레이더 야외 성능시험(탐지거리 5km 이내)을 수행하였다.

오스트리아는 2020년 5월 13일 양자 레이더 시제품의 프로토타입(시제품)을 만들었다(Pax Eurasia)고 발표하였으며, 관련 내용이 과학 저널 Science Advances에 발표되었다.

한국은 국방과학연구소 주도로 양자 원격탐지 기초 연구(광마이크로파 양자 상호변환, 양자 상태보존, 양자 조명, 양자 고스트이미징)를 수행 중이며, 양자 레이더를 위해 얽힌 광자를 야외의 표적을 향해 자유공간 상에서 전파하고 수신하는 자체과제를 연구하고 있다.

나. 무기체계 활용전망

양자 레이더 개발은 국가 차원에서 비밀리 이루어지고 있어 설계기술 확보에 어려움이 많아 현재까지는 무기체계 적용이 미약한 수준에 머물고 있다. 그러나, 양자 레이더는 기존 레이더에 비해 신호대 잡음비를 혁신적으로 증대할 수 있어 저피탐/스텔스 표적을 탐지하여 무력화할 수 있는 미래 신개념의 레이더 기술이다. 또한, 얽힌 양자를 변조하거나 복제

1) National Institute of Information and Communication Technology

하려는 시도도 탐지할 수 있기 때문에 적의 기만책에 즉각적인 대응이 가능하다. 기존의 고성능 장거리 레이더, Passive 레이더 등이 스텔스 표적을 탐지할 수 있다고는 하나 주변 지형 및 운용환경에 따라 탐지가 제한되며 높은 표적식별 오인식을 지닌다. 특히, 전자파 송출장비/기지국 부재시는 해당 레이더들은 아예 무용지물이 될 수도 있다.

따라서, 세계 주요국은 양자 레이더를 스텔스 표적탐지를 위한 핵심 무기체제로 인식하여 국가차원에서 비공개로 개발 중인 것으로 파악되며, 기술 발전추세로 미루어 보아 향후 20년 이내 양자 레이더 무기체계가 전력화 될 것으로 전망된다.

4.2 양자 암호통신[5][6]

4.2.1 양자 암호통신 원리

양자 암호통신은 1984년 C.H.Bennett 등이 처음 제안한 통신방식으로, 파장이나 진폭 등을 이용하는 기존의 통신과 달리 빛의 최소 단위인 광자(양자의 구성 물질)에 정보와 암호키를 담아 전달한다. 양자의 불확정성/비가역성 특성에 의해 제3자(적/해커)가 정보 및 암호키 탈취/복제를 시도할 경우 양자의 상태가 변하면서 이는 즉각적으로 감지된다.



[그림 2] 양자 암호통신 개념도(출처: SK telecom)

4.2.2 양자 암호통신 현황

미국은 2003년 DARPA Project 를 통해 세계최초로 양자 암호 시험통신망을 구축하였으며, 2006년에는 세계 최초로 양자 도청을 시험, 2013년 부터는 NASA에서 560km 거리의 양자 암호통신 네트워크를 구축 중에 있다.

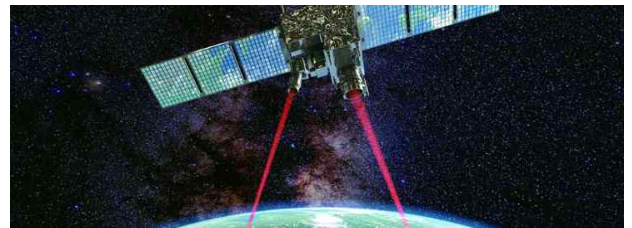
유럽은 2002년 제네바와 67km 떨어진 로잔(Lausanne)지역 내 광통신 시스템을 이용해 양자 암호키 분배 기술을 시연했으며, 여러 벤처 기업 등을 설립해 난수생성기와 양자 암호키 분배 시스템을 상용화하기 시작했다.

중국은 2016년 세계 최초로 양자 통신 위성(묵자)을 쏘아 올린데 이어 2017년 6월 세계 최장거리 무선양자 암호통신에 성공하고 양자 통신위성을 통해 20년까지 아시아-유럽을 연결하는 양자 암호통신 네트워크 구축, 30년에는 전세계를 연결하는 양자 암호통신망 구축을 목표로 하고 있다.

일본은 국가정보통신연구소(NICT) 주관으로 도쿄 시내 양자암호통신 네트워크를 구축('10년)하였으며, 양자키 분배(45km 광케이블 구간에서 294kbs), 동영상 암호화와 전송에

성공(12년)한바 있으며, 17년 7월 마이크로 통신위성 '소크라테스'를 활용한 우주-지상 간 양자 암호키 분배(QKD)로 세계 2번째로 양자 암호통신 위성을 보유하게 되었다.

한국은 대학과 연구소를 중심으로 유선 양자 암호통신을 연구 중이며, SKT, KT 등의 민간 기업에서도 상용화 연구를 추진 중이다. 포항공대는 얽힌 광자를 이용한 유선(광섬유) 양자 암호통신, ETRI 는 일반 광자를 이용한 무선 양자암호통신 연구 중이다. 국방과학연구소 역시, 정출연 연구소와 협업하여 국방분야 첨단 양자 통신기술을 연구 중이며, 자체기획 과제도 계속 추진 중인 것으로 알려져 있다.



[그림 3] 2017년 6월16일치 <사이언스> 표지에 실린 중국의 양자통신위성 '모쯔'(묵자).

4.2.3 양자 암호통신 무기체계 활용 전망

고도의 보안성을 요구하는 국방 분야에서 양자 암호통신 기술은 사이버 테러 등 국방 정보통신망 생존을 위한 기반 기술이다. 미국은 세계최초로 양자 암호통신망을 시험 구축한 이후, 지상기반 양자 통신 네트워크를 구축 중이며 중국과 일본은 양자 암호통신 위성을 통해 후발주자로서 미국과의 기술격차를 추월하고자 노력하고 있다.

한국의 양자 암호통신 기술 수준을 살펴보면, 유선 양자 암호통신 분야는 중국과 비교시 기술격차가 크지만 다른 선진국대비는 결코 뒤지지 않는 기술력을 보유하고 있으며, 무선 양자 암호통신 기술로는 초소형 양자 난수생성기 기반 기술로 이동스마트폰과 결합하는 상용화 연구를 추진 중이다 (SKT, KT 등). 이러한 원천기술을 기반으로 양자 암호통신 기술을 국방 분야에 적용한다면 군 통신망의 보안성이 전반적으로 급격히 향상될 것으로 전망된다.

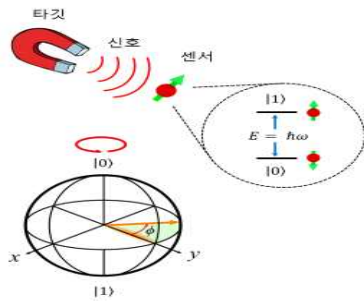
4.3 양자 센서[7]

4.3.1 양자 센서 원리

양자 센서는 고전 센서로는 측정이 불가능한 값들을 측정하거나 측정 정밀도를 높일 수 있는 초고감도, 초고분해능 센서 기술이다. 양자 센서의 기본 원리는 센서와 탐지대상 물체 사이의 상호작용을 통해 발생하는 미세한 양자 위상변화를 측정하는 것이다.

양자를 이루고 있는 물질인 전자와 광자는 양자 스핀이라 불리는 고유의 각 운동량을 갖는다. 양자 스핀의 위상은 미세한 힘, 자기장, 속도 등에도 쉽게 변화한다. 이 변화량을 측정

하는 것이 양자 센서의 원리이다.



[그림 4] 양자 스핀 특성

4.3.2 양자 센서 현황[8]

미국은 양자 센싱 분야에서도 글로벌 리더로써 역할을 공고히 하고 있다. 특히, ‘국가 양자정보 과학전략’은 양자 센싱 등 주요 과제에 10년간 집중 투자하는 등 양자분야 기초연구를 강화하고 인력양성과 산업계와 적극 협력을 추진할 계획이다. 또한, 국립연구소 에너지 부에 5개의 양자 컴퓨팅 센터를 수립하였으며, 향후 5년간 6억 2천500만 달러를 투입하여 최첨단 양자 센싱 프로젝트를 진행할 계획이다.

유럽연합의 경우 ‘양자기술 플래그쉽’을 통해 2018년부터 광기반 양자시계, 원자 증기 셀 기반 각속도/자기장/시계, 다이아몬드 NV센터 기반 MRI 이미징, 다이아몬드 NV센터 기반 자기장/전기장/온도/압력 센서 등의 총 4개 양자 센싱 프로젝트를 지원한다.

영국의 경우 ‘퀀텀 기술 허브’를 통해 2014년부터 10년 동안 총 4,000억 원 규모의 지원을 하고 있으며 중력계, 자력계, 자이로스코프, 원자시계, 양자 이미징 등 총 12개의 양자 센싱 프로젝트를 진행하고 있다.

중국의 경우 2020년 오픈을 목표로 총 12조 원 규모의 거대 연구센터²⁾를 조성하고 양자 기술 전반에 대한 지원에 들어갈 계획이다.

한국은 2019년 1조 원 가량의 양자 센서 세계 시장 규모가 10년 후인 2028년에는 약 2.5조원 규모로 성장할 것으로 기대된다. 양자자력계, 원자시계 등이 양자 센서 시장을 주도할 것으로 예상되는 가운데, 양자 센서는 항해/운송, 의료 등을 중심으로 산업, 의료전반에 걸쳐 수요가 증가할 것으로 예상된다. 국방과학연구소는 원자 스핀 자이로 연구를 2016년부터 수행하고 있으며, 2016년~2019년 까지 원자 스핀 자이로의 개념 파악 및 센서 개발을 수행하고 있다.

4.3.3 양자 센서 무기체계 활용 전망

양자 센서들은 중력변화/가속도를 측정하는 중력계, 회전 변화량/각속도를 측정하는 자이로스코프, 자기장 크기 및 방

향을 측정하는 자력계 등을 이용하는 무기체계에 널리 이용될 수 있다. 아울러 해당 기술은 국방 항법분야에 적용될 경우 초정밀 타격이 가능하며, 기존 광학식 기반 관성항법장치 대비 부피 및 크기를 1/3 이하로 줄일 수 있어 무기체계 소형/경량화가 가능한 획기적인 기술이다.

양자 자이로스코프는 항해, 항공, 무인자동차, 드론, 로봇 등 다양한 분야에서 활용 가능하며, 양자 자기장 센서는 잠수함 탐지를 위한 자기변화탐지기, 항만에서 함정 등의 출입을 감시하는 항만감시체계, 지하 및 수중에 매설된 위험물을 탐지하는 불발탄 탐지 무기체계 등에 널리 활용될 전망이다.

5. 결 론

최근 몇 년 사이 양자기술 전반에 관한 관심이 급증하며 세계 주요국 및 국내에서도 양자기술에 대한 투자와 기술개발을 집중하고 있는 추세이다.

양자기술은 무기체계에서 창과 방패로 모두 사용될 수 있다. 초고속 양자컴퓨터에 의한 사이버 공격, 양자 레이더에 의한 스텔스 표적 탐지, 양자 센싱에 의한 초고감도 표적식별 등이 일레이다. 양자 무기 전력화는 아직까지 각 기술별로 많은 장벽과 한계가 있다. 그러나, 양자 무기는 기술 혁신성으로 인해 미래전장의 패러다임을 바꿀 와해적이고 파괴적인 신무기가 될 것이라 확신되고 있다. 따라서, 국방 선진국들은 양자 무기 핵심기술 확보와 체계개발을 위해 열을 올리고 있다. 우리는 양자 기술의 혁신성을 무기체계에 어떻게 적용할 것인가 고민하고, 양자 원천기술을 융합하여 미래전장의 주역이 될 수 있는 신개념 양자 무기체계를 개발하여야 할 것이다. 이를 위해서는 만군을 막론하고 국내외 관련기술 공동연구 및 정부/기관간 상호협업이 무엇보다 중요하다 할 것이다.

참고문헌

- [1] 소프트캠프 블로그, 양자보안의 이해와 전망, 2018. 6.12. <https://blog.softcamp.co.kr/257>
- [2] “2030년까지 양자 기술 4대 강국 도약”, 아시아경제, 2021. 4. 30. <https://news.nate.com/view/20210430n16191?mid=n0602>.
- [3] ADD, 스텔스 잡는 레이더 개발 나선다, 아시아경제, 2020. 11.14. <https://www.asiae.co.kr/article/2020111308293595125>
- [4] “중국, ‘스텔스기 천적’ 양자레이더 개발 성공”, 2016.9.08. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160908174500074>
- [5] IITP, ICT SPOT ISSUE(ICT의 새로운 진화-양자정보통신을 위한 향한 주요국의 도전, 2019.8.7.
- [6] 양자암호통신 개발동향 및 시장전망 https://www.inirnc.com:40126/prop/bbs/board.php?bo_table=ini_column&wr_id=79
- [7] 이동현, 양자센서 연구동향 및 활용전망, www.iitp.kr

2) National Lab for Quantum Information Sciences