

2024 Summer SKA-Korea Workshop Discussion

(동탄, 2024.07.25 - 26)

Day 1 - Presentations

Session 1

Chair: 손봉원 (한국천문연구원)

(1) 13:35 - 14:20 (I): 김재영 (경북대학교) Introduction to VLBI ([slide](#))

- VLBI를 이용한 고분해능의 중요성 - e.g. AGN의 영상화로 내부 물질 세부 분포 연구 가능
- 분해능을 높이기 위해서는? - e.g. 구경 vs 파장 절충 필요
- 전파 망원경 간섭계 원리 (필터링, 신호 경로차) - 사람의 좌우 청각, 뉴런 활성화로 공간을 인지하는 원리와 유사
- 다수의 안테나로 구성된 어레이 전파 망원경의 경우 각 안테나에서의 신호 합산 - 빔 패턴(PSF)을 결정하게 되며, 다양한 빔의 크기나 방향을 조합하여 연구에 활용
- 실제 관측 사례 (EHT를 이용한 M87 관측) - 천체에서 지구를 봤을 때 투영된 평면 (u-v 평면) 상에서 천체들의 밝기를 추정
- VLBI 장점: 각 망원경이 물리적으로 연결될 필요 없음, 초장기 기선으로 우주 공간과도 연결, 점광원을 관측하기에 유리
- VLBI 단점: 각 망원경들의 시간 동기화, 각 위치별 대기의 상태 등으로 노이즈 발생, 데이터 처리 및 영상화시 추가 테크닉 필요
- VLBI를 활용한 핵심적 측정치: 천체의 정밀한 밝기, 위치 (astrometry)
- SKA-VLBI: 새로운 주파수를 활용한 연구 - 외계 행성 이미징, SKA-space VLBI 참여 등 사이언스/기술적 측면에서 다양한 아이디어 필요
- (질문자1): 질문 내용
 - 답변:

(2) 14:20 - 14:35 (C): 박종호 (경희대학교) Faraday Rotation Observed in Active Galactic

Nuclei: Applications in the SKA Era

- M87 Jet collimation inside the Bondi radius - pressure profile (alpha)
- Why SKA (> high sensitivity)? - detailed polarisation structures, jet collimations for other various AGNs
- Looking for signatures of internal Faraday rotation; Faraday Screen = Synchrotron emitting source
- Studying the origin of edge-brightening in AGN jets (global VLBI alliance - high sensitivity & angular resolution: clear edge-brightening is more visible)
- (류동수, 박종호): Faraday tomography, a new method to investigate the cosmic magnetism would be one of the intriguing research topic using the high-resolution observations using SKA

- (Hyesung Kang) Regarding the origin of edge-brightening: Is it possible to imagine a hollow geometry for jets ? If CR electrons and magnetic turbulence are concentrated in the shear layer between the jet flow and the surrounding region?
-> (Jongho Park) Thank you very much for your question. There are broadly two possible scenarios suggested for the edge-brightened jet morphology. 1. The edges appear brighter than the central region due to a velocity stratification within the jet. Some people believe that the edges should be slower than the central axis due to the interaction (friction) between the jet and the ambient medium. 2. The edges are brighter than the central layer due to higher synchrotron emissivity at the edges. Recent high-resolution 3D GRMHD simulations have suggested that there are more synchrotron emitting particles located at the edges than the central region. It may be too lengthy to explain the mechanism in detail here, but is primarily related to the magnetic reconnection occurring in the accretion disk. Also, there could be more effective particle acceleration occurring at the jet edges due to magnetic reconnection and velocity shear between the jet and the ambient medium as you suggested. Please take a look at our paper currently under review by ApJ Letters for more details
(https://www.dropbox.com/scl/fi/0dpyfdsmvmvdt9tpfnnoa/124805_0_merged_pdf_7159511_sg57kg.pdf?rlkey=9zozdlqwqrsdplrdab59zzf3&st=0t5xs9d3&dl=0)

(3) 14:35 - 14:50 (C): Jeff Hodgson (세종대학교) QUOKKAS in the SKA era

- Cosmological Quasar Observations on the KVN from Korea to Australia (and South Africa/Spain)
- More complete Hubble diagram, effect measurement of H0 and cosmological distances based on the precise size measurements - high resolution and cadence are required
- Using SKA, H0_cal, similar angular resolution, but much improved sensitivity
- ref: David Fernández Gil et al. accepted: extended study with the same datasets (astrogeo) is feasible (안경진)
- (질문자1): 질문 내용
 - 답변:

Session 2

Chair: 윤혜인 (서울대학교)

(1) 15:20 - 16:05 (I): 김준한 (KAIST) VLBI: Receiver System

- 낮은 주파수 (< 수백 MHz): dipole 안테나 vs 높은 주파수: 신호를 모으기 위한 접시형 안테나
- Heterodyne 수신기 (위상 정보 중심) vs bolometric 수신기 (신호의 세기에 더 초점)
- Radiometer equation (noise level): 시스템 온도, 대역폭, 관측 시간 간의 관계
 - 시스템의 온도가 낮을수록, 대역폭이 넓을수록, 관측시간이 길수록 노이즈 레벨이 낮아진다

- VLBI - (super)heterodyne 수신기, 관측하려는 신호와 잘 알려진 신호 주파수 차이로 (믹서) 디지털 변환이 쉽도록 증폭/변형 + Spectrometer - 주파수에 따른 기록
- 예시 - Event Horizon Telescope VLBI, SPT VLBI receiver
 - 믹서 기술의 발전 (ALMA - 노이즈 감소)

(추가/편집해주세요)

- (안경진): bolometric 수신기도 편광 관측이 가능한지?
 - 답변: 가능, CMB 측정시 많이 활용됨
- (류동수): (super)heterodyne의 의미
 - 답변:
- (백준현): LO 주파수가 주입됐을 때, 처음부터 합쳐진 채로 샘플링을 하는건지?
 - 답변: Sideband 활용, 신호 체인 구조상 원하는 주파수를 뽑아낼 수 있도록 구성
- (오세현) LO frequency는 상업적으로 정해져있는지? (제품)
 - 답변: 연구 목적에 따라 정할 수 있고 만들 수 있다
- (류동수) 다파장 관측 동시에 관측할 때 어떻게 하는지
 - 답변: LO를 특정 주파수에 걸어 놓고 앞에 Mixer나 증폭기가 넓은 대역을 커버할 수 있으면 좋은데, 한정적이기 때문에 그 한계에 맞춰서 관측
- (홍성욱) RF와 LO frequency가 하필 같은 경우는?
 - 답변: 실제로 가능, 필터로 세밀하게 잘 구성해야
- (안경진) 저주파의 믹서는 어떻게 구성되는지?
 - 답변: 저주파는 고주파수에 비해서 데이터 처리가 쉬워서 굳이 다중 믹서를 이용한 주파수 변환이 필수적이지 않다
- (김재범) Space-VLBI 구축, 운영 면에서 무게/비용 등의 제약을 고려할 때 Heterodyne 수신기가 적절한지?
 - 답변:
- (홍영표) 태양풍이나 우주 환경적 요소는 영향을 주지 않는지?
 - 답변:
- (안경진): radiometer equation을 거스르는 시스템 온도란 것이 존재하는지요? EDGES plate 관측기의 참여자와 대화한 결과, 100MHz 부근에서 몇 mK 수준의 감도를 갖는 것이 매우 어렵다고 합니다 (이런저런 systematics 때문이라고는 하는데...). 반면, radiometer equation으로는 이보다 훨씬 작은 온도의 감도가 예측됩니다. 혹시 비슷한 예라던지, 실제 기기를 다룰 때의 경험이 있으신지요.
 - 답변: Radiometer equation은 random noise를 가정했을 때의 이야기라 실제로는 그 외 systematics에 따라 감도에 한계가 생깁니다. 그 영향이 크면 radiometer equation 예측만큼 감도가 나오지는 않을 테고요.

(2) 16:05 - 16:50 (I): 염재환 (한국천문연구원) VLBI: Correlator

- 상관기 - 빛을 모으는 렌즈의 역할과 유사, 각 망원경으로 수신되는 전파 신호를 합성
- 망원경의 메인 접시면에서 반사되어 집광된 신호가 리시버로 - 샘플러로 전송 - 기록된 데이터를 KREONET 네트워크로 상관센터로 보냄
- 상관 알고리즘
 - Baseline base: 스테이션이 많아지면 해를 구하는 것이 어려워짐
 - Station base: 지구 중심을 기준으로 각 스테이션의 지연을 구함
- Time domain에서 Sampling time 단위로 시간 보정 (샘플 신호 개수 기준으로 자름)
- Fringe rotation: 믹서의 원리와 유사

- 상관처리 후 데이터 품질 검증, 사용자에게 데이터 전송
- 상관기 개발 - GPU 활용, 월등한 연산량, OS 및 소프트웨어에 따른 불안정
- SKA-VLBI: 행렬 연산 (텐서 코어)
- (손봉원) 상관 알고리즘에서 F-X와 X-F의 차이?
 - 답변: 샘플 시간 단위로 신호를 보정하게 되는데, F-X만 Fraction delay 보정을 하는 것이 가능하다.
- (류동수): 상관기 diagram 상에서 GPU의 역할?
 - 답변: 전부 하고 있음.
- (오세현): FPGA기반, GPU 기반 상관기의 성능이 동일하다고 할 때 전력의 차이가 있는지?
 - 답변: 현재는 GPU가 저전력, 성능이 훨씬 뛰어나기 때문에.
- (윤혜인): 상관처리 이후 각 station의 자료는 어떻게 처리가 되는지?
 - 답변: PI 요청에 따라 자료를 보관하거나 지우거나.

Session 3

Chair: 김준한 (KAIST)

(1) 17:00 - 17:15 (C): 이덕형 (경북대학교) EVN 5 GHz e-VLBI observations of SN 2023ixf in M101

- Jive에서 수행한 Transient 천체 연구 - 초신성 (항성 진화 연구) SN 2023ixf
- 29일 후 10 GHz 에서 관측됨, 41일 후 5 GHz에서의 관측 자료 분석 (EVN) - RNAAS (Deokhyeong Lee et al, 2024, Res. Notes AAS 8 121)
- Non detection, but flux upper limit을 이용해서 Mass-loss rate 계산, constrain 하지는 못함
- (박종호): CASA로 처리하는 것이 noise가 높은 이유
 - 답변: AIPS에서는 낮은 noise 얻음

(2) 17:15 - 18:00 (I): 안경진 (조선대학교) SKA science data challenge 3b (SDC3b)

- EoR (Epoch of Reionization) 21-cm line intensity mapping은 높은 imaging sensitivity를 요구하기 때문에 어렵지만, power spectrum을 얻기는 상대적으로 쉽다
- 여러 redshift 영역에서 출발한 line들을 연구: high-z에서 중성 수소 분포, low-z로 가면서 이온화됨
- CMB: monopole 이용한 전통적인 관측 (strong signal, isotropy) - dipole 이용한 관측 (anisotropy) large H II bubble
- KorSDC 3a team - foreground 영향을 걷어내는 것 (Milky Way 등의 영향): Point source removal + primary-beam correction + deconvolution + smoothing + ICA
- Himalaya team: Point source removal + smoothing + PCA (foreground 걷어냄) -> imaging으로 H II bubble까지 얻음
- KorSDC 3b 목표: reionization process를 결정하는 최적의 inference를 얻는 것
 - 데이터: 2D power spectrum images (no foreground interference)
 - <https://github.com/21cmFAST/21cmEMU>

(추가/편집해주세요)

- (류동수): deconvolution의 의미?
 - 답변: 이미징 과정에서 안테나 효과로 인해 하늘의 point source 중심으로 물결 파원 형태가 보이는 것을 변환시켜 없앴
- (류동수) LOFAR 등의 낮은 주파수로 깊게 관측해서 발견한 은하단/필라멘트 등의 구조들과 비교할 때 데이터 챌린지 cosmology 관측 자료들의 sensitivity는?
 - 답변: KorSDC3a에서 포함된 Milky Way를 포함한 foreground signal에 속함
- (오세현) 중성 수소의 이온화 비율을 정확하게 constrain 할 수 있는가 (모델에 따른 의존도 등)?
 - 답변: 가급적 타당한 모델 등 적용 필요. 예시 - 어떤 정도의 질량 이상의 헤일로들만 별을 만들어서 High-z에서 빛을 낼 수 있다 등의 가정을 적용. SDC3b에서는 표준화(많은 이들이 사용)된 parametric model을 공통으로 사용함.

(3) 18:00 - 18:15 (C): David Parkinson (한국천문연구원) Cross-correlations of the Evolutionary Map of the Universe with other extragalactic survey data

- Using the ASKAP-EMU data: all-sky radio survey (800-1088 MHz) with 10 arcsec of resolutions
- Statistics and correlations for cosmology - looking at distribution of galaxies through displacement field (not redshifts, as it is projected)
- EMU angular power spectra can be fit well by the theoretical prediction, but not enough + DES cross-correlation - constrain the distribution of $N(z)$
- a redshift distribution that peaks at a much higher redshift than current simulations
- (Jeff): Considering the fact that radio galaxies could trace AGN activities, the number count function in this study might be affected?
 - 답변: depending on the flux limit and modeling - how to deal with the faint sources etc.

Day 2 - Discussions

Chair: 오세현 (세종대학교)

SKA-Korea website: <https://ska.kasi.re.kr/>

한국형 SKA 과학 기술 개발 논의 - 현재까지 4번의 공식 워크샵, SDC 미팅, science 미팅 등 개최

(1) 손봉원 (한국천문연구원): 한국 참여 현황 (20 + 10 min)

- SKAO 전반 현황:
 - SKAO 공식 웹사이트 (<https://www.skao.int/en>) 방문 권장, 최근 소식 및 동향 파악 가능, SKAO 국제 기구 전환

- 11개국 정회원 (프랑스, 독일, 스웨덴 포함 14개국 - 국회 동의 절차 중), 한국 참여 기대 중 (15번째 참여국으로)
- 두 사이트 (남아공 SKA-mid/서호주 SKA-low) - 지리적 환경 비슷, 사막지대
- SKA-low: 첫 번째 스테이션 완성, 현재 6개 설치 중 (2024년 7월부터 테스트 관측 시작)
- SKA-mid: MeerKAT (15-m 직경, 64개 망원경, 2018년-), 우리 은하 중심부 고분해능 영상 참조 (독일형 안테나 프로토타입)
- SKA-mid 첫 번째 안테나 설치 영상:
<https://www.youtube.com/watch?v=jgXY7n7Jp3g>
- (credit: SKAO 이사회 발표 자료 참고) 총 7년 건설 기간 예상 (2029년 7월까지, 전체적으로 계획을 잘 따라가고 있으나 지연 가능성, 현재 31개월 경과), 전체 공정률: 24.5% (안테나 건설 및 각종 인프라 포함)
- 한국 SKA 현황
 - 과기부-SKAO 대표단 회의 (2024년 3월)
 - 우주청(KASA)에서 SKA 포함한 우주 연구 관련 국제 기구 프로젝트 담당 예정, 한국 담당자 SKAO 파견 예정
 - SKAO 한국 참여 의의:
 - Membership will grant exclusive access to the SKA-telescopes.
 - Korean researchers will be able to tackle some of the most fundamental scientific questions.
 - 과기부 중기재정계획에 반영되어 있음, 우주청 정책 방향에 반영됨
 - 기간: 2025-2031년 (분담금 345억 예상)
 - 과학 미션 중심
- (강혜성) 현재 한국 참여 진행 현황?
 - 답변: 우주청-SKAO 공식 협약, 국회 동의 남아있음
- (안경진) SKAO 참여 분담금 국가마다 책정되는 기준?
 - 답변: 최소 분담금 1.3% 책정되어 있음 (한국 분담금)
- (안경진) Job opening 가능성?
 - 답변: 전망하기로는, 데이터 센터와 연구 개발의 예산이 인력 양성으로 (빅데이터 연구 포함). 주로 ECR을 위한 지원이 될 것으로 예상, 관심 필요
- (강혜성) 데이터 센터 현황 (천문연, UNIST +@)?
 - 답변: 정부 요청 방향 - 출연연(KISTI)자원 활용 권장 - 예시, KVN의 KREONET

(2) 이해승, 이남욱, 백준현, 김정하, 김신영 (KRSRC팀): SRC 소개 및 현황, 관측 및 데이터센터 운영 관련 토론 (20 + 20 min)

- 백준현: KRSRC 필요성 및 역할
 - 데이터 흐름: 13만개 SKA-low안테나 or 197개 SKA-mid안테나 - 백엔드에서 신호 모아서 - 상관처리/데이터 calibration 위해 전송 (Cape Town or Perth)
 - ALMA데이터의 1000배 정도의 전송 속도
 - 데이터 규모 예시 (MeerKAT HI mapping 40시간 자료 - 2.5TB, ASKAP Wallaby 8시간 데이터 큐브 - 500-GB, SKA 1PB Cube)
 - 관측소 데이터 처리 - (SKA Regional Center) - 사용자
 - Web 기반의 자료 분석 가능하게 - 분석 툴, 색인, 사용자 지원, 분산 자료처리, 시각화, 호환성

- (손봉원) 사용자별 접속 보안 제안 문제?
 - 출연연 및 공공 기관이 준수해야하는 보안 레벨이 높아서, 특정 IP로 운영 중, 보안 레벨 상향 필요
- (조일제) SKA-VLBI 데이터 처리 배포 예상 방향은?
 - 아직 알기 어려움, SRCNET 확장 예상
- 김정하: KorSRC측에서 공유하는 질문/논의
 - 한국 SKA community의 규모 전망 - 50명 전후 예상, 훨씬 증가 예상 (중력파 연구자들의 참여 예상)
 - SKA key science working group에 참여하는 것 중요 (EoR, HI, ...)
 - 실제 서버팀에서 데이터 만지는 경험이 있는 사람들의 협업 필요
 - SRCNET 에 대한 이해도? 피드백이 있으면 자유롭게 의견 교환 가능
 - 국내 전용 리소스를 갖춰야하는지? (예시, SKA-VLBI)
 - 여름 학교 등 science/technical 면에서 교류 필요 - 인력 양성

Group discussions

(1) Group 1: 관측기술개발/망원경 건설 및 산업

- SRC 관련 질의응답
 - 인력 FTE count - "SKA" 과제를 통한 (참여율 고려) 연구참여인력 필요. 우주청 SKA 과제에서 인력 지원이 가능할 것으로 기대되나 아직 확정된 바 없음.
 - v0.2 시작(2026년 초)에 대비해 2025년부터는 준비를 시작해야. Hardware 기준 4억 필요 예상(computing 2억, storage 2억) + 공간/운영 등 기타 비용.
 - SRC 참여를 못하게 될 경우 자료 접근이 어려운 상황이 생길 수 있어서 optional로 생각하는 어려움.
 - CERN의 예: KISTI에 서버가 있어 (전문인력 없이) scientific support가 어려운 부분.
 - IT/data scientist/astronomer 간 적절한 비율이 필요.
- SRC 이외의 기술 참여: GPU correlator/spectrometer (KASI 상관계 그룹), wideband ADC, etc.

(2) Group 2: 과학연구 및 관측 프로그램 개발

- 과학연구 관심 분야 : 백준현 (Low-frequency (few GHz) VLBI, AGN-HI gas), 조일제 (SKA-VLBI, binary blackhole, high-z 퀘이사), 노현욱 (SKA-VLBI, high-z AGN jet, jet 주변 가스 분포, binary blackhole), 황지혜 (Zeeman effect in star-forming regions), 여소연 (AGN jet), 이기범 (nearby galaxies HI), 이원기 (은하단 diffuse emission detection, magnetism), 방태현 (dwarf galaxy HI), 이진수 (cluster simulation과 gas 운동 비교), 이은유 (은하단 주변 구조, ASKAP & MW data, 은하단 충돌에 의한 radio bridge)
- SKA-VLBI ; 기존과 분리된 시스템 필요..?
- 사용 중인 SKA precursor ; MeerKAT, MW, ASKAP
- SKAO working group 참여자? 없다.
- SKA-VLBI workshop?

-

(3) Group 3-1: 한국 SKA 참여 관련 조직/제안서 작성 등

-

(4) Group 3-2: SDC3b

- Minji planned to generate sim
 - But she doesn't have enough time
- Worried about photon conservation option in 21CMFAST
 - Not very accurate in defaults setting
 - path integration - reduce width makes accurate but increases time
 - Jaehong doesn't have enough time
- Check details of setting for sim - then Minji + Dahee can run
- 2D power spectrum
- Worried about projecting into cylindrical coordinates
 - bandwidth issue - difficulty projecting onto plane
 - sensitivity as a function of redshift
- Need to make sure we don't include things twice
- 21cmEMU
-
- window function effect along frequency direction -> either in error budget or in analysis? -> ask SDC team!
- workload:
21cmFAST or C2Ray? -> we are more familiar to 21cmFAST (MJ, DH)
- A converged MCMC chain with 8D parameter space exists (Jaehong)
We can use it for sampling within the chain's area
- Box size: 700Mpc (8x8 deg²)
- Noise-related issue (contact HI)