



فرآیند اصلاح داده های تجربی نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان

محمد سبوحی^۱، گوهر رستگارزاده^۱، حمید مقدادی^۳

^۱ دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

^۲ آرایه رادیویی دانشگاه سمنان، دانشگاه سمنان، سمنان

^۳ دانشکده مهندسی برق و مخابرات، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

در این پژوهش به بررسی فرآیند اصلاح داده های نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان خواهیم پرداخت. این آرایه بر روی پشت بام دانشکده فیزیک دانشگاه سمنان استقرار یافته و به طور خودکار به ثبت داده های رادیویی می پردازد. هر گونه نتیجه گیری از داده های ثبت شده از یک آرایه رادیویی به منظور تعیین پارامتر های مهم یک پرتو کیهانی به مانند انرژی اولیه، نیازمند بازسازی دقیق سیگنال تولید شده توسط یک بهمن گسترده هوایی می باشد. از همین رو در این پژوهش تلاش شده است تا فرآیند اصلاح داده های تجربی با هدف انجام اقدامات لازم به منظور بازسازی هرچه دقیق تر شکل و مشخصات سیگنال رادیویی ثبت شده توسط آرایه رادیویی دانشگاه سمنان در نتیجه استفاده از تجهیزات الکترونیکی و آنتن های رادیویی، مورد بررسی قرار گیرد.

The process of modifying experimental data of the Semnan University Radio Array prototype

M. Sabouhi^{1,2}, G. Rastegarzadeh^{1,2}, H. Meghdadi³

¹ Physics Faculty, Semnan University, Semnan

² Semnan University Radio Array (SURA), Physics Faculty, Semnan University, Semnan

³ Electrical and computer engineering faculty, Semnan University, Semnan

Abstract

In this study, we investigate the process of modifying experimental data of the first SURA experiment prototype. This array is mounted on the roof of the physics faculty of Semnan university and captures possible cosmic ray candidates in a self-trigger mode. Extracting any important property of a cosmic ray such as initial energy, requires precise measurement and accurate reconstruction of radio signals which have been emitted during a shower development and reached an antenna. Here we describe the method used for modifying the experimental data in order to reconstruct the overall shape and characteristics of a cosmic ray radio signal by applying the corrections related to the electronic chain and the antennas to the experimental data.

مقدمه

در حال حاضر از روش های گوناگونی برای آشکارسازی یک بهمن گسترده هوایی که در نتیجه ورود یک پرتو کیهانی به جو زمین به وجود می آید، استفاده می شود [۱]. یکی از این روش ها که به طور ویژه در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی است [۲]. این رویکرد به دلیل ویژگی های مثبت فراوان که از جمله آن ها می توان به امکان فعالیت در شرایط مختلف جوی، هزینه تمام

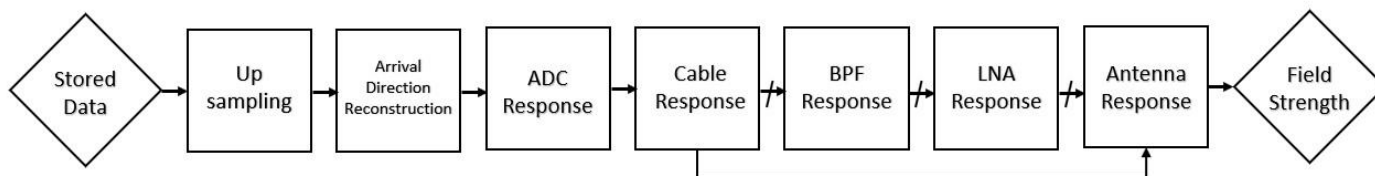
شده کم تر نسبت به سایر روش ها ، امکان فعالیت به صورت یکپارچه با سایر روش های موجود و همین طور امکان انجام طیف گسترده ای از مطالعات نجومی اشاره نمود، تا کنون توسط آزمایشگاه های گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته است.

در کنار ویژگی های مثبت فراوان استفاده از روش آشکارسازی رادیویی پرتو های کیهانی، تحلیل داده های حاصل از چنین روشی، به بررسی های بسیار دقیق نیازمند است. این مسئله در کنار نبود تجهیزات پیشرفته الکترونیکی از جمله دلایلی بود که استفاده از روش آشکارسازی رادیویی علیرغم کشف آن در دهه ۱۹۶۰ میلادی [۳] در گذشته ای نه چندان دور با چالش های فراوانی همراه بوده است [۴]. از همین رو و در این پژوهش تلاش شده است تا فرآیند اصلاح و بازسازی داده هایی که به صورت خودکار توسط آرایه ¹SURA [۵] ثبت می گردند، توضیح داده شود.

به منظور جداسازی رخدادهایی که احتمالاً ناشی از ورود یک پرتو کیهانی به جو زمین بوده و در نتیجه انتشار یک بهمن گسترده هوایی به وجود آمده اند، شرط هایی برای ثبت داده های رادیویی به صورت آنلاین و در یک برنامه اختصاصی که برای آرایه SURA توسعه داده شده مورد نظر قرار گرفته است. از جمله این شروط می توان به همزمانی سیگنال های ثبت شده توسط آنتن های آرایه SURA اشاره نمود. با توجه به فاصله آنتن های آرایه و با در نظر گرفتن سرعت انتشار پالس های رادیویی در هوا و سرعت انتقال داده ها در کابل کوکسیال مورد استفاده در آزمایش، یک پنجره زمانی برابر با ۱۸۷ نانو ثانیه در برنامه تعریف شده است و رخدادهای رسیده به آرایه تنها در صورتی که دارای دامنه بیشتری از نویز زمینه باشند و در عین حال در پنجره زمانی تعریف شده به هر چهار آنتن رادیویی آرایه برسند، توسط برنامه ذخیره و به منظور انجام مطالعات بعدی توسط سیستم ثبت می شوند. لازم به ذکر است که در این برنامه، موارد دیگری از جمله فرآیند حذف نویز های موجود در طیف فرکانسی مورد مطالعه نیز تا حد امکان انجام می پذیرد [۶]. داده های ثبت شده سپس به وسیله یک برنامه اختصاصی دیگر مورد تحلیل قرار می گیرند. در گام نخست تلاش می شود تا شکل اصلی سیگنال بازسازی گردد و در ادامه، تصحیحات لازم در خصوص تاثیر اجزای مختلف زنجیره الکترونیکی بر روی سیگنال اعمال شده و در نهایت با استفاده از نتایج حاصل از شبیه سازی رایانه ای آنتن های آرایه، مقدار مؤلفه شرقی-غربی میدان الکتریکی فرود آمده بر آنتن رادیویی به منظور فراهم آمدن امکان مقایسه نتایج حاصل با شبیه سازی های رایانه ای فراهم گردد.

فرآیند اصلاح داده های تجربی

روش های گوناگونی برای واسنجی یک آرایه رادیویی وجود دارد که با توجه به شرایط موجود، آرایه SURA از یک روش خاص برای واسنجی الکترونیک خود بهره می برد [۷]. در ادامه ی این فرآیند که از مدتی پیش آغاز شده بود ، تاثیرات ناشی از اضافه نمودن تقویت کننده سیگنال و همین طور فیلتر میان گذر در مجموعه الکترونیک آرایه نیز مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ضمن توسعه ی یک برنامه رایانه ای ، امکان انجام اصلاحات لازم بر روی سیگنال های ذخیره شده فراهم آمد. شکل ۱ مراحل در نظر گرفته شده برای اصلاح داده های تجربی را نمایش می دهد.

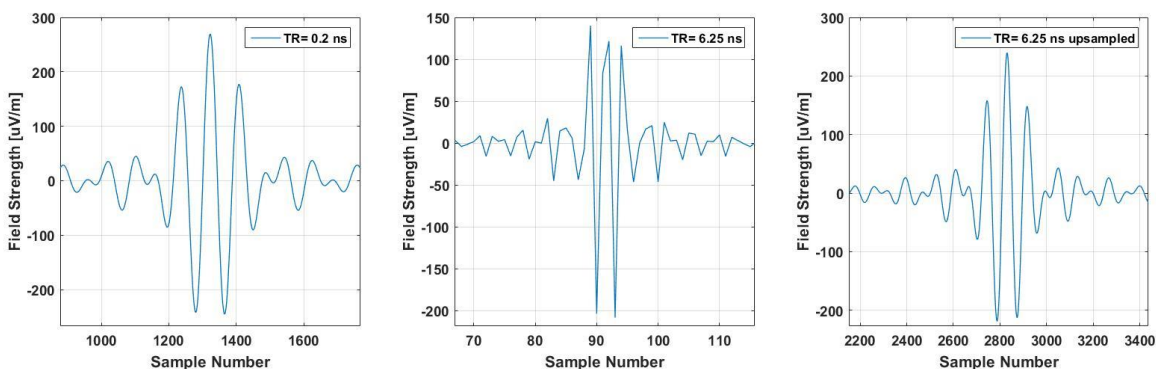


شکل ۱. مراحل انجام اصلاحات لازم با هدف اعمال تاثیرات ناشی از زنجیره الکترونیکی و آنتن رادیویی به منظور بازسازی مؤلفه میدان الکتریکی رسیده به آنتن رادیویی. با توجه به ویژگی های برنامه تحلیل داده های تجربی، امکان اعمال تاثیرات بخش های مختلف الکترونیکی بر روی داده های تجربی وجود دارد. در حال حاضر و با توجه به نوع اتصالات استفاده شده در زمان داده گیری مقدماتی آرایه، تاثیرات ناشی از تقویت کننده سیگنال و فیلتر میان گذر آنالوگ بر روی داده های تجربی اولیه اعمال نمی شود.

¹ sura.semnan.ac.ir

سیگنال های رادیویی آشکار سازی شده توسط آنتن های رادیویی پس از عبور از سیستم الکترونیکی و ذخیره سازی بر روی رایانه توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال به داده های دیجیتال قابل ثبت و تحلیل بر روی رایانه ، تبدیل می شوند. نرخ نمونه برداری این دستگاه ارتباط مستقیمی با امکان بازسازی دقیق تر سیگنال رادیویی رسیده به آنتن های آزمایش دارد. در آزمایشگاه های مختلف از دستگاه هایی با نرخ نمونه برداری مختلف بسته به بازه فرکانسی مورد مطالعه استفاده می شود. در آزمایش SURA و با توجه به بازه فرکانسی ۴۰ تا ۸۰ مگاهرتز که در این آزمایش مورد مطالعه قرار گرفته است، از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال با نرخ نمونه برداری ۱۶۰ میلیون نمونه در ثانیه استفاده می شود.

مطالعات پیشین نشان می دهند که ارتباط مستقیمی میان شدت سیگنال رادیویی و انرژی ذره اولیه وجود دارد [۲]. علاوه بر آن شبیه سازی های رایانه ای نشان می دهند که پهنای یک پالس رادیویی فیلتر شده که ناشی از انتشار یک بهمین گسترده هوایی در جو باشد طول عمری بسیار کوتاه در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ نانو ثانیه خواهد داشت [۸]. به همین دلیل علاوه بر استفاده از مبدل های آنالوگ به دیجیتال پر سرعت در آزمایشگاه های مختلف، از تکنیک افزایش نرخ نمونه برداری نیز برای بازسازی شکل سیگنال استفاده می گردد [۹]. از همین رو در اولین گام، نرخ نمونه برداری سیگنال های ذخیره شده توسط مجموعه الکترونیک تا حد امکان به صورت نرم افزاری افزایش می یابد. بررسی های دقیقی برای تعیین مقدار افزایش نرخ نمونه برداری به صورت نرم افزاری به نحوی که منجر به بازسازی صحیح شکل کلی سیگنال ثبت شده گردد، توسط گروه SURA در جریان است. در حال حاضر مقدار افزایش نرخ نمونه برداری تا حد ۰.۲ نانو ثانیه بر روی داده های ثبت شده توسط آرایه اعمال می گردد. در شکل ۲، پالس رادیویی شبیه سازی شده ی یک پرتو کیهانی پروتون که به صورت عمود وارد جو شده و توسط آنتی که در مرکز بهمین گسترده هوایی قرار گرفته آشکار سازی شده است، به صورت نرم افزاری تا ۰.۲ نانو ثانیه افزایش داده شده است. در این حالت از یک فیلتر میان گذر دیجیتال در بازه ۴۰ تا ۸۰ مگاهرتز و متناسب با نرخ نمونه برداری هر شبیه سازی استفاده شده است.



شکل ۲. بازسازی شکل سیگنال رادیویی با استفاده از تکنیک افزایش نرم افزاری نرخ نمونه برداری. سیگنال فیلتر شده در فرکانس ۴۰-۸۰ مگاهرتز برای یک پرتو کیهانی پروتون با انرژی $2 \times 10^{17} \text{ eV}$ که به صورت عمود وارد جو شده و توسط یک آنتن که در مرکز بهمین قرار گرفته، آشکار سازی شده است. از سمت چپ به راست به ترتیب، شکل سیگنال رادیویی در حالت هایی که نرخ نمونه برداری برابر با ۰.۲، ۶.۲۵ و همین طور در حالتی که نرخ نمونه برداری به صورت نرم افزاری از ۶۲.۵ نانو ثانیه تا ۰.۲ نانو ثانیه افزایش یافته است، نشان داده شده است.

استفاده از تکنیک افزایش نرخ نمونه برداری به صورت نرم افزاری علاوه بر بازسازی شکل کلی سیگنال که از اهمیت بسیار بالایی در شناسایی رخداد های محتمل پرتو های کیهانی برخوردار است، امکان بازسازی مقدار حداکثری شدت دامنه پالس رادیویی و در نتیجه آن شدت مؤلفه میدان الکتریکی رسیده به آنتن رادیویی را ممکن می سازد.

پس از این مرحله و با استفاده از تکنیک اختلاف زمانی و به کمک یک برنامه توسعه داده شده، جهت ورود سیگنال های رادیویی بازسازی می گردد، دقت این روش در هر دو زاویه سمتی و سوسویی در حدود ۱ درجه می باشد [۵]. با توجه به موقعیت آرایه رادیویی دانشگاه سمنان و با در نظر گرفتن جهت بردار میدان مغناطیسی زمین در محل آزمایش، توزیع زوایای سمتی و سوسویی داده های اولیه ثبت شده توسط آرایه SURA تطابق خوبی با نتایج مورد انتظار داشته است [۱۰]. در گام بعد تاثیرات بخش های مختلف زنجیره الکترونیکی بر روی سیگنال رادیویی که در نتیجه داده های حاصل از واسنجی به دست آمده است، اعمال می گردد و در نهایت با توجه به شبیه سازی انجام گرفته برای آنتن رادیویی آرایه و با استفاده از جهت بازسازی شده، پاسخ آنتن به منظور بازسازی مؤلفه میدان الکتریکی بر روی داده ها اعمال می گردد تا در نهایت مؤلفه شرقی-غربی میدان الکتریکی رسیده به آنتن رادیویی بازسازی شده و در نتیجه آن امکان مقایسه نتایج تجربی ثبت شده با داده های حال از شبیه سازی رایانه ای به منظور تعیین پارامتر های مهم یک پرتو کیهانی فراهم آید.

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی فرآیند اعمال شده بر روی داده های تجربی نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان به منظور بازسازی شکل و مشخصات سیگنال رادیویی تولید شده در نتیجه ورود یک پرتو کیهانی به جو زمین پرداختیم. به منظور انجام هر گونه نتیجه گیری از داده های ثبت شده در یک آرایه رادیویی و همین طور فراهم آمدن امکان مقایسه داده های تجربی با داده های حاصل از شبیه سازی های رایانه ای، لازم است تا ضمن انجام اصلاحات لازم به منظور بازیابی شکل سیگنال رادیویی، تاثیرات ناشی از حضور بخش های مختلف الکترونیکی و در نهایت پاسخ آنتن رادیویی مورد بررسی دقیق فرار گیرد. به همین منظور فرآیند واسنجی بخش الکترونیک نمونه اولیه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان تکمیل شده و با بهره گیری از یک شبیه سازی رایانه ای پاسخ آنتن های آرایه SURA نیز محاسبه گردیده است. با بهره گیری از اطلاعات حاصل، امکان بازسازی شکل اولیه سیگنال و در نهایت محاسبه مقدار مؤلفه شرقی-غربی رسیده به آنتن رادیویی فراهم آمده است. نتیجه این اقدامات می تواند منجر به مقایسه داده های تجربی با نتایج حاصل از شبیه سازی های رایانه و در نهایت تعیین پارامتر های مهم یک پرتو کیهانی با استفاده از داده های رادیویی گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از تلاش های تمامی اعضای گروه آرایه رادیویی دانشگاه سمنان که در انجام این فرآیند همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می گردد.

مرجع ها

- [1] Kampert, Karl-Heinz, and Michael Unger. "Measurements of the cosmic ray composition with air shower experiments." *Astroparticle Physics* **35.10** (2012): 660-678.
- [2] Huege, Tim. "Radio detection of cosmic ray air showers in the digital era." *Physics Reports* **620** (2016): 1-52.
- [3] Jelley, J. V., et al. "Radio pulses from extensive cosmic-ray air showers." *Nature* **205.4969** (1965): 327-328.
- [4] Huege, Tim. "The renaissance of radio detection of cosmic rays." *Brazilian Journal of Physics* **44.5** (2014): 520-529.
- [5] Rastegarzadeh, Gohar., and Sabouhi, Mohammad. "SURA: Semnan University Radio Array." *Experimental Astronomy* **49.1** (2020): 21-41.
- [6] Sabouhi, Mohammad, and Rastegarzadeh, Gohar. "SURA 4; First prototype of Semnan University Radio Array." *In: Proceedings of Iranian Annual Physics Conference*, Tabriz, Iran, (2019): 1289-1292.
- [7] Mostafavi Alhosseini, Maryam, Sabouhi, Mohammad, Alizadeh, Ali, Rastegarzadeh, Gohar. "Beginning of the calibration process in the SURA experiment." *In: Proceedings of Iranian Annual Physics Conference*, Kermanshah, Iran, (2020): 139-142.
- [8] Sabouhi, Mohammad, and Rastegarzadeh, Gohar. "Are inclined air showers from cosmic rays the most suitable to radio detection?" *The 34th International Cosmic Ray Conference*. Vol. **236**. SISSA Medialab, 2016.
- [9] Gemmeke, Hartmut, et al. "Techniques for radio detection of Ultra-High energy cosmic rays." *IEEE Transactions on Nuclear Science* **56.3** (2009): 1083-1088.
- [10] Sabouhi, Mohammad, and Rastegarzadeh, Gohar. "SURA-4; First set of experimental data analysis." *In: Proceedings of Iranian Annual Physics Conference*, Kermanshah, Iran, (2020): 752-755.