

УДК 681.3, 519.68, 524.7-77/33
№ держреєстрації 0111U004497

Інв. № _____

Національна академія наук України
Радіоастрономічний інститут
Червонопрапорна 4, Харків 61002, тел. 057 7061415

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник ДЦНТП впровадження і
застосування грид-технологій
на 2009-2013 роки
академік НАН України

_____ А.Г. Загородній

«__» _____ 20 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Радіоастрономічного інституту
академік НАН України

_____ Л.М. Литвиненко

«__» _____ 20 р.

ЗВІТ ЗА ПРОЕКТОМ

«Адаптація ПЗ для радіоастрономічних досліджень для роботи в GRID-середовищі та модернізація GRID-інфраструктури РІ НАНУ»

виконаним в рамках Державної цільової науково-технічної програми
впровадження і застосування GRID-технологій на 2009-2013 роки

Керівник ССР НОВ
к.ф.-м.н.

В.Л. Майстренко

Секретар координаційного комітету
ДЦНТП в НАН України,
д.ф.-м.н.

Є.С. Мартинов

Керівник проекту

І.Б.П.

Харків – 2011

Матеріали звіту розглянуто та затверджено Вченою радою Радіоастрономічного інституту
НАН України, протокол № 18 від 28.12.2011

ПЕРЕЛІК АВТОРІВ

Керівник НДР

Завідувач лабораторією
телекомунікаційних технологій, к.ф.-м.н

Царін Юрій Арнольдович

Відповідальні виконавці:

с.н.с., к.ф.-м.н.

Виноградов Володимир
Вікторович

с.н.с., к.ф.-м.н.

Захаренко В'ячеслав.
Володимирович

пров. інженер-програміст

Кулішенко Сергій
Федорович

Виконавці:

пров. інженер-програміст

Кулішенко Дмитро
Федорович

інженер-радіофізик

Ткачов Віталій
Миколайович

РЕФЕРАТ

Звіт по НДР: 25 стор., 6 рис., 2 табл., 6 джерел.

Мета проекту – використання грід-технологій для обробки даних радіоастрономічних спостережень. Модернізація існуючого кластеру РІ НАНУ, яку в першу чергу спрямовано на радикальне збільшення місткості сховищ даних та прискорення паралельної обробки даних спостережень. Існуюче ПЗ портовано із ПК на грід-кластер (gcc for Sci.Linux NorduGrid or gLite). Розпочато створення каталогу радіо джерел в декаметровому діапазоні.

Завдання і заходи Програми, які виконувалися в проекті

Завдання	Заходи
1. Створення і розвиток матеріально-технічної бази національної грід-інфраструктури, інтегрування її у міжнародний грід-простір	1.4 Побудова нових та посилення існуючих кластерів і грід-платформ доступу в провідних академічних інститутах.
4. Розробка та впровадження грід-технологій в науково-технічну та соціально-економічну сфери діяльності	4.1 Використання грід-технологій в фундаментальних наукових та науково-прикладних дослідженнях.

Перелік завдань, як вони сформульовані в Технічному Завданні до проекту.

В 2011 році було заплановано:

Адаптація ПЗ до роботи в розподіленому середовищі. Модернізація обчислювального грід-кластеру РІ НАНУ.

Що зроблено: Існуюче ПЗ радіоастрономічних досліджень модернізовано та портовано для роботи в розподіленому середовищі на кластері РІ. Модернізовано обчислювальний грід-кластер РІ НАНУ.

Ключові слова: **радіо джерела, розподілена обробка даних, спостереження, веб-каталог, віртуальна обсерваторія**

ЗМІСТ ЗВІТУ

ВСТУП.....	5
1 Наукова складова проекту	7
1.1. Переваги спостережень в декаметровому діапазоні.	7
1.2 Задачі чисельної обробки даних спостережень	9
1.2.1. Очистка корисного сигналу від перешкод.	9
1.2.2. Знаходження сигналу пульсару. Уточнення міри дисперсії	11
1.3. Результати.	15
2 Використання комп'ютерних ресурсів для отримання результатів проекту.....	17
3 Модернізація комп'ютерних ресурсів	20
Перелік обладнання, яке було закуплено.	20
Кластер та ЛОМ РІ.	21
Висновки	23
Література.....	24
Додаток 1	25
а. Перелік завдань і заходів (за Програмою), що виконувались з зазначенням коштів, що використані для виконання кожного з них.	25
б. Використання комп'ютерних ресурсів для отримання результатів	25

ВСТУП

Радіоастрономічний інститут НАНУ є головною науковою організацією в Україні в галузі радіоастрономічних і радіофізичних досліджень космічного простору. Фундаментальними науковими напрямками інституту є розробка теорії та фізичних принципів створення радіотелескопів та удосконалення інструментальної бази для радіоастрономічних спостережень; проведення радіоастрономічних досліджень у широкому діапазоні радіохвиль; дослідження Землі та планет, навколоземного та міжпланетного простору засобами радіоастрономії та дистанційного зондування. Також інститут проводить дослідження в галузі теоретичної радіофізики та прикладні дослідження і радіотехнічних систем в діапазоні надвисоких частот.

Обробка даних радіоастрономічних спостережень в режимі реального часу потребує великої швидкості розрахунків і великих швидкостей передачі даних. Ціла низка фундаментальних космологічних задач може бути розв'язана лише при використанні Грід технологій.

Радіоастрономічний інститут НАНУ має у своєму розпорядженні Радіоастрономічну обсерваторію ім. академіка С.Я. Брауде (ст. Граково, Харківська обл., географічні широта $49^{\circ} 38' 40''$, довгота $36^{\circ} 56' 30''$), де розташовано унікальний радіотелескоп УТР-2. На теперішній час цей прилад є найпотужнішим в світі інструментом для проведення радіоастрономічних досліджень у декаметровому діапазоні радіохвиль: дослідження Сонця, Землі та планет, навколоземного, міжпланетного та галактичного простору. Загальна площа телескопу сягає 150 тис. м², а розподільна спроможність близька до $40' \times 40'$ на частоті 16.7 МГц. Завдяки застосуванню телескопу створено карти зоряного неба в декаметровому радіодіапазоні, а також бази даних, які містять низку каталогів радіоджерел, розташування та кутові розміри яких можуть бути нанесено на отримані карти. Отримуються радіозображення залишків наднових, пульсарів, міжзоряних хмар, тощо. Досліджується тонка структура сонячних спалахів різних типів в діапазоні частот 10—30 МГц. Розроблено методи, алгоритми, пакети програм з інтерфейсом “Sky Continuum Survey” для побудови радіокарт по спостереженням в континуумі. Розвивається концепція застосування існуючих радіотелескопів для апробації та розвитку проекту LOFAR, який спрямовано на створення в найближчий час гігантських низькочастотних радіотелескопів нового покоління. Ми маємо пропозиції щодо участі нашого інституту в консорціумі Europlanet, в рамках якого будуть досліджуватися (екзо) планети з одночасним застосуванням низки наземних та космічних телескопів у різних діапазонах електромагнітного випромінювання. В цьому році на телескопі розпочато будівництво сучасної мережі реєстрації даних, завдяки якій обсяг сирих даних, що одночасно реєструється, складатиме 100 Мбайт на секунду, та буде щорічно зростати принаймні втричі.

Радіовипромінювання з короткими часовими масштабами змінності несе інформацію про внутрішню природу джерел і динамічні процеси в них, а також, завдяки ефектам поширення, дозволяє досліджувати характеристики міжзоряного середовища.

Декаметровий діапазон у край несприятливий для спостереження слабких імпульсних сигналів через високий рівень перешкод, галактичний фон, який зростає в бік низьких частот, і розсіювання сигналів в міжзоряному середовищі. Головним чином тому до теперішнього часу на найнижчих частотах було продетектовано відносно невелику кількість пульсарів.

Проте, переваги декаметрового діапазону, такі як конус випромінювання нейтронних зір, який розширюється в бік низьких частот, точність визначення параметрів, легкість виділення найближчих поодиноких імпульсних сигналів на тлі широкосмугових перешкод дозволяють сподіватися на виявлення помітної кількості нових джерел транзієнтного випромінювання в найбільш близької до Сонячної системи околиці Галактики.

Для їх пошуку на УТР-2 було розпочато нову кампанію по пошуку пульсарів і джерел транзієнтного випромінювання Північного неба з параметрами: схил вищий за -10° , період більше за 0.1 с., міра дисперсії менше за 30 пк см^{-3} . Проте, наявній інформації про характеристики випромінювання пульсарів в декаметровому діапазоні на сьогодні недостатньо для оцінки потенційних можливостей виявлення джерел імпульсного випромінювання. Це спонукало нас зробити пошук усіх відомих за високочастотними даними пульсарів у рамках параметрів, обраних для огляду. Повна вибірка з каталогу при цьому склала 74 пульсари.

В результаті дослідження, уперше в декаметровому діапазоні було виявлено радіовипромінювання більше 40 пульсарів (при 10 раніше відомих). Для 31 з них уперше отримані значення потоків, час розсіювання, тривалість імпульсу, а також спектральні індекси. Для більш ніж 25 пульсарів уточнені значення міри дисперсії (DM). Крім того, зареєстровано пульсари B0138+59 с $DM \approx 35 \text{ пк см}^{-3}$, и B0525+21 с $DM \approx 51 \text{ пк см}^{-3}$. Уперше показано високу ефективність детектування пульсарів на відстані до декількох парсек і покращено точність виміру характеристик їх радіовипромінювання в декаметровому діапазоні. Отримано дані про розширення конуса радіовипромінювання, які дозволяють сподіватися на виявлення нових джерел транзієнтного і імпульсного випромінювання, недоступних для спостереження на високих частотах, що переконує в необхідності проведення систематичного огляду північного неба в низькочастотному діапазоні.

Все це зробило обробку даних радіоастрономічних спостережень на телескопі УТР-2 головним напрямком виконання даного проекту.

1 Наукова складова проекту

1.1. Переваги спостережень в декаметровому діапазоні.

Переваги декаметрового діапазону можна розбити на дві групи. До першої відносяться такі, які пов'язані з адаптацією апаратури і методики спостережень до фізичних умов декаметрового діапазону. Так, наприклад погіршення часового дозволу у зв'язку з розсіянням дозволяє зберігати набагато менший об'єм частково осереднених в часі даних. Інші переваги, як наприклад, розширення конуса випромінювання пульсарів в бік низьких частот, є безперечними, і можуть дати нову інформацію про нейтронні зорі.

Дослідження безперервного спектру випромінювання велетенських імпульсів пульсара в Крабовидній туманності, при одночасних спостереженнях від декаметрового до дециметрового діапазону [1] показало, що в низькочастотному діапазоні можливе детектування гігантських імпульсів, отже, мілісекундні пульсари з ГГ виявляються доступними для спостережень. Так само декаметровий діапазон може бути досить інформативним в частині визначення потоку, а, отже, спектрального індексу випромінювання. Це може виявитися важливим для розуміння деталей механізму випромінювання. Крім того, аномально низьке розсіяння з показником міри α_{sc} нижчим 4, виявлене в цьому випадку, яке також було підтверджено і в [2], добре узгоджується з даними [3] про аномально низьке розсіяння імпульсного випромінювання для деяких напрямів в Галактиці. Таким чином, обмеження по дальності і часовій шкалі в деяких напрямках на низьких частотах можуть бути не такими жорсткими.

В умовах декаметрового діапазону, що характеризується, у тому числі, і великим часом розсіяння, оптимальним являється перерозподіл апаратного (on - line) і програмного накопичення. Часткове накопичення даних, що ще не призводить до погіршення тимчасового дозволу, в порівнянні з тим, яке задане ефектом розсіяння, прискорює подальшу обробку. Крім того, замість когерентної компенсації дисперсії можна застосувати просту постдетекторну компенсацію, завдяки тому, що "розмазання" імпульсного сигналу в смузі каналу, за рахунок дисперсії, є порівняним за величиною з ефектами розмиття сигналу із-за розсіяння.

Основним завданням радіотелескопу УТР-2 [4] було створення каталогу джерел Північного неба в декаметровому діапазоні. Досить високе просторове розділення (24' на частоті 25 МГц) досягнуте за рахунок наявності двох витягнутих в перпендикулярних напрямках антен : "Північ-південь" (1845 м, 1440 вібраторів) і "Захід-схід" (900 м, 600 вібраторів). При цьому багатолучевість (5 променів антени "Північ-південь") була закладена в проект спочатку, для урахування впливу рефракції в іоносфері. Два "ножових" промені в перпендикулярних площинах можуть формувати вузький "олівцевий" промінь - при операції перемножування, яка здійснюється відповідно до формули $(U_1+U_2)^2 - (U_1-U_2)^2 = 4 U_1U_2$. Сума і різниця

сигналів антен "Північ-південь" (U_1) і "Захід-схід" (U_2) отримана за допомогою гібридних пристроїв сума-різність. Сумарний промінь є хрестоподібною діаграмою спрямованості, в якій основну долю ефективної площі (близько 70%) має антена "Північ-південь". На вхід двоканального реєструвального пристрою приходять тільки сигнали суми і різності, а перемножування, в даному випадку, віднімання сигналів, відповідно до наведеної вище формули, здійснюється в процесі чисельної обробки.

Характерною рисою пропонованого скануючого огляду (що використовує обертання Землі) від огляду джерел на УТР-2 або огляду пульсарів на GBT являється використання не вузького перемноженого (олівцевого) променя, а широкого сумарного (хрестоподібного). Практично повна відсутність ефекту сплутування для джерел імпульсних сигналів, які легко помітні по дисперсії на низьких частотах, а пульсари також і по періоду, дає можливість використання широкого (15°) променя антени "Північ-південь" в транзитному режимі. При цьому втрачається дозвіл по годинному куту, але з'являється істотний виграш, як за часом накопичення, так і за тривалістю самого огляду. На рис. 1. показані розрахункові траєкторії джерел, що проходять діаграми п'яти променів антени "Північ-південь" з двома значеннями $\delta=0^\circ$ і $\delta=60^\circ$. Видно, що джерело залишається в діаграмі антени майже годину, а при необхідності можуть бути використані дані сусіднього променя. Центри п'яти променів радіотелескопу зсунуто системою формування променів на $\sim 24'$, тобто на ширину променя на частоті 25 МГц, з півдня на північ.

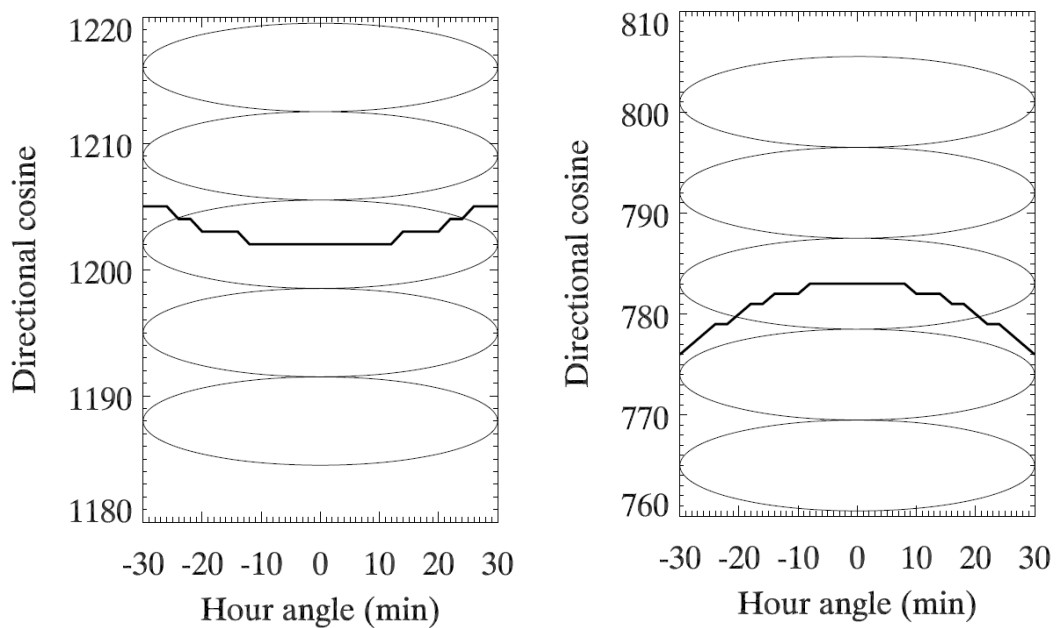


Рис.1 Розрахункові траєкторії джерел, що проходять діаграми променів антени

Істотною відмінністю планованого огляду є тривале накопичення сигналів для усіх напрямів, незалежно від галактичних координат, що здійснюється за допомогою спільної обробки цих усіх променів радіотелескопу в часовому інтервалі ~ 1 година зі значним перекриттям в часі. Це дозволяє отримати практично однакову чутливість для області з радіусом від доль до одиниць парсек, де джерела розташовуються досить

рівномірно. Відмінності по чутливості залежать від температури фону Галактики в діаграмі спрямованості антени і Zenітного кута, який визначає максимальну ефективну площу телескопа. Спочатку проводилася обробка в межах $DM = 0.30$ пк/см³ для пошуку випромінювання, що повторюється, і 0.60 пк/см³ для пошуку транзієнтного випромінювання. Надалі діапазон оброблюваних заходів дисперсії може бути розширено.

1.2 Задачі чисельної обробки даних спостережень

Розвиток технологій безперервно збільшує розрядність та обсяги даних, що можуть бути отримані більш і більш сучасними інструментами і, відповідно, навантаження на систему обробки даних. Водночас, нові комп'ютерні технології роблять можливими реалізацію таких алгоритмів обробки даних, про які ще вчора можна було тільки мріяти. Багатомірні високорозрядні записи сигналів від великої кількості антен роблять природною їх паралельну обробку на комп'ютерних кластерах та в ґріді. Коротко розглянемо алгоритми вирішення проблем, які розв'язувалися протягом виконання даного проєкту.

1.2.1. Очистка корисного сигналу від перешкод.

УТР-2 є найбільшим у світі радіотелескопом декаметрового діапазону з ефективною площею 150000 м². Завадостійка забезпечена широкосмуговою підсилювальною системою [54] і новими релейними комутаторами [55], які дозволяють проводити цілодобові спостереження навіть в умовах важкої завадової ситуації. Нове радіоприймальне устаткування [Кожин, DSPZ, PRE VII] дозволяє вести запис в усій смугі телескопа в спектральному режимі або в режимі прямого запису оцифрованих значень вхідного сигналу (waveform).

Вибір частотного діапазону пов'язаний з умовами спостережень : прозорістю іоносфери і завадовою обстановкою. Вночі можливо проводити виміри вище 8 МГц, т. до. рівень перешкод незначний. У уранішній, денний і вечірній час ситуація є прийнятною для спостережень тільки на частотах вище 14.16 МГц. Оскільки спостереження велися цілодобово, то був вибраний частотний діапазон 16.5-33.0 МГц. У спектральному режимі приймач DSPZ має в цьому діапазоні 4096 частотних каналів шириною 4 кГц.

Запис кожного пульсара проводився впродовж півтора годин. За цей час для пульсарів з різним періодом було накопичено від 1800 до 35000 періодів. Був використаний постдетекторний метод усунення дисперсії, при якому для $DM = 30$ пк см⁻³ навіть в самому низькочастотному каналі, де у більшості пульсарів випромінювання укривається, розширення сигналу складає всього біля 100 мс.

Високоінтенсивні перешкоди широкомовних радіостанцій проявляються на нижніх частотах (до 22 МГц). Діапазон 27.33 МГц характеризується наявністю низькоінтенсивних широкосмугових перешкод. При сприятливій завадовій ситуації вночі рівень перешкод не перевищує фоновий більше, ніж на декілька дБ. Решта часу інтенсивність перешкод на десятки дБ вища за рівень фону. Типовий спектр, записаний в денний час, показаний на рис.2.

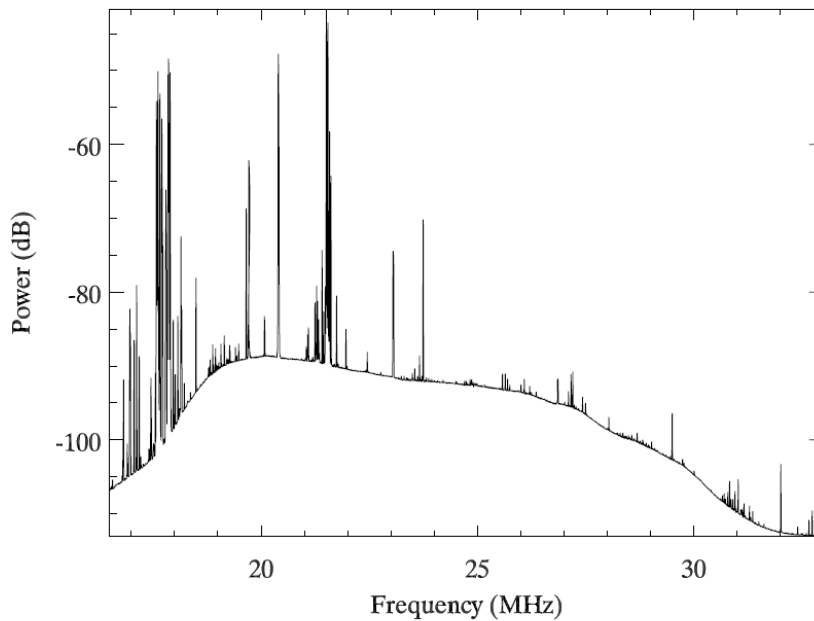


Рис.2 Приклад спотвореного інтенсивними перешкодами спектру, що приймається УТР-2 в денний час.

Алгоритми очищення від перешкод дозволяють варіювати глибину очищення залежно від завадової обстановки. Маскування уражених частотних каналів і/або інтервалів часу призводить до неминучої втрати відліків, де випромінювання пульсарів є присутнім. Тому до записів, проведених в нічний час, застосовувалося найменш глибоке очищення. До спостережливих даних, отриманих в уранішній і денний час, коли рівні перешкод перевершували рівні неуражених каналів на 70 – 80 дБ, застосовувалося глибше очищення.

Процедура очищення складалася з декількох етапів. Спочатку у вузькосмугових спектральних каналах ітераційно обчислюється середньоквадратичне відхилення (σ_{ch}) шляхом відкидання на кожному кроці відліків, що перевищують $3\sigma_{ch}$. Ітерації припиняються, якщо нове значення σ_{ch} відрізняється від попереднього не більше, ніж на 10^{-5} . Отримане значення використовується для визначення двох порогів обробки. Перший (зазвичай вибирається в межах $4...6 \sigma_{ch}$) є рівнем обмеження. Застосування такого варіанту очищення є виправданим, якщо в каналі відбувається складання відносно сильного сигналу пульсара з малоінтенсивною перешкодою або підвищенням інтенсивності фону внаслідок мерехтіння близько розташованого точкового джерела (ця ситуація зустрічається досить часто із-за відносно широкій діаграми спрямованості). Крім того, зазвичай на подібних мерехтіннях відбувається посилення не лише сигналу точкового джерела, але і сигналу пульсара. Саме для того, щоб не пропустити такі події, використовується обмеження, а не усунення подібних сигналів. Другий поріг ($6...10\sigma_{ch}$) відповідає за усунення високоінтенсивних сигналів, які ми розглядали як безумовно завадові. Слід зазначити, що короткі сплески у вузькосмугових каналах, що видаляються таким алгоритмом, зазвичай є широкосмуговими. Тому цей етап, по суті, є очищенням від широкосмугових перешкод.

У денний час необхідно виключати більше число частотних каналів, уражених перешкодами постійно працюючих широкомовних і спеціалізованих радіостанцій. Для цього досить порівняти нормовані на коефіцієнт посилення середні значення потужності в сусідніх каналах. Користуючись тим же алгоритмом, що і раніше, обчислювалося σ_{sp} - середньоквадратичне відхилення для неуражених перешкодами частотних каналів. Після цього усі канали, що перевищують певний рівень (зазвичай $4\sigma_{sp}$) виключалися з розгляду.

Також в денний час часто зустрічаються малоінтенсивні широкосмугові перешкоди в діапазоні 27.33 МГц. Для їх усунення потрібно повторити широкосмуговий етап очищення. Усі очищені до цього частотні канали підсумовуються, і обчислюється нове значення σ_{sum} . Інтервали часу, в яких сумарне значення перевищувало розраховане $4\sigma_{sum}$, також виключалися з розгляду. При розрахунку потоків використовувалася інформація про кількість виключених частотних каналів і інтервалів часу.

1.2.2. Знаходження сигналу пульсару. Уточнення міри дисперсії

Після очистки сигналу від перешкод проводилося виділення пульсара по різних параметрах: період, похідна періоду, міра дисперсії, ширина імпульсу, координати та ін. Для кожного використовувалася своя підпрограма характерної обробки даних. Розглянемо цю процедуру на прикладі пошуку сигналу по мірі дисперсії.

Для визначення DM з можливо більш високою точністю необхідно використати найменше досяжне значення кроку пробної міри дисперсії. У наших даних величина його обмежена знизу наявним часовим розрізненням: сусідні значення пробної міри дисперсії повинні мати зсув максимально рознесених частот більше, ніж один дискрет (8 мс) за часом. Ми використали крок ΔDM , який дорівнює 0.002 пк см^{-3} (зсув на 2.5 дискрета).

Для ілюстрації пошуку уточненої міри дисперсії приведемо проміжні і підсумкові дані для пульсара B0031 - 07. На рис. 3 наведено результати компенсації дисперсійної затримки поширення сигналу різними пробними значеннями DM. Ліворуч приведено панелі з очищеними від перешкод і накопиченими динамічними спектрами 5700 періодів пульсара. На кожному сумарному динамічному спектрі представлений частотний діапазон 16.533.0 МГц. Згори трьох панелей приведені відповідні накопичені по частоті середні профілі імпульсу пульсара. Кожному профілю відповідає свій горизонтальний переріз яскравісного зображення на правій панелі (певне значення пробною DM). Профілі зображені з кроком 0.02 пк

У наших даних величина його обмежена знизу наявним часовим дозволом: сусідні значення пробної міри дисперсії повинні мати зсуви максимально рознесених частот більше, ніж один дискрет (8 мс) за часом. Ми використали крок (зсув на 2.5 дискрета).

В якості ілюстрації пошуку уточненої міри дисперсії приведемо проміжні і підсумкові дані для пульсара B0031 - 07. На рис. 3 приведені результати компенсації дисперсійної затримки поширення сигналу різними пробними значеннями DM. Ліворуч приведені панелі з очищеними від перешкод і накопиченими динамічними

спектрами 5700 періодів пульсара. На кожному сумарному динамічному спектрі представлений частотний діапазон 16.5...33.0 МГц. Згори трьох панелей приведені відповідні накопичені по частоті середні профілі імпульсу пульсара. Кожному профілю відповідає свій горизонтальний переріз зображення на правій панелі (певне значення пробною DM). Профілі зображені з кроком 0.02 пк см⁻³. Профіль імпульсу з максимальним С/Ш, як видно із вертикального розташування імпульсної компоненти на усіх частотах динамічного спектру, відповідає найкращій компенсації дисперсійної затримки.

В нашому алгоритмі компенсація дисперсійної затримки проводиться по відношенню до самого високочастотного каналу. Це формує відповідний нахил овалу максимальної інтенсивності в площині "фаза періоду - міра дисперсії". При відхиленні від оптимальної DM, у бік негативних ΔDM ("недокомпенсація") максимум середнього профілю зменшується і зрушується в пізнішу фазу періоду, при "перекомпенсації" ($\Delta DM > 0$) - у більше ранішню.

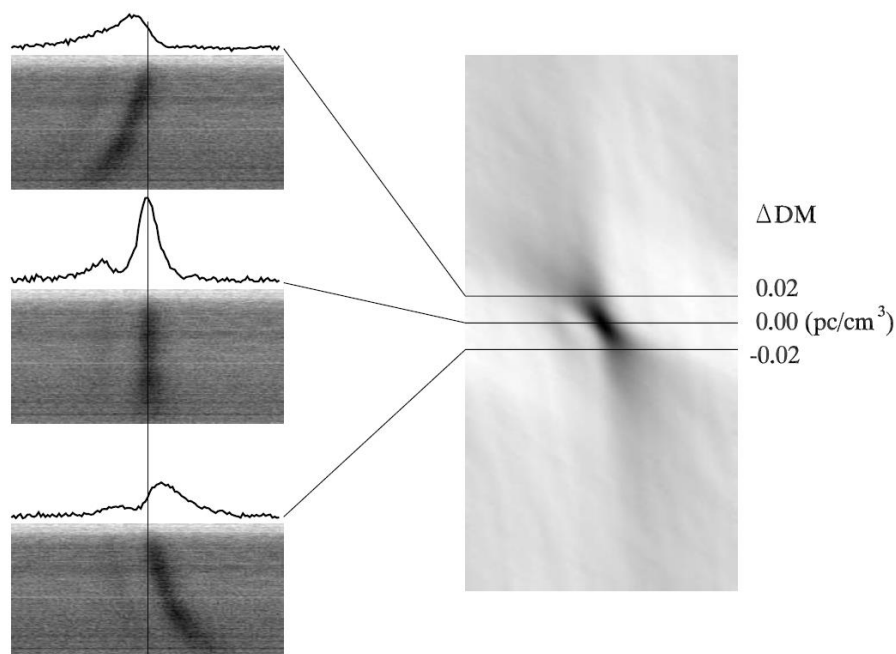


Рис. 3. Приклад визначення міри дисперсії, отриманої в смузі частот 16.5...33.0 МГц, для пульсара B0031 - 07. Зображення в координатах "Фаза періоду - Міра дисперсії" для пульсара B0031 - 07. Нахил "овалу" максимальної інтенсивності пов'язаний з тим, що компенсації дисперсійної затримки проводиться по відношенню до верхньої частоти діапазону : при недостатній компенсації (ΔDM негативна) середній профіль збирається в пізнішій фазі періоду обертання пульсара, при "перекомпенсації" (ΔDM позитивна) - у ранішній.

Як приклад розглянемо приведений на рис. 4 результат уточнення міри дисперсії для пульсара PSR B0031 - 07. На лівій панелі зображений середній профіль імпульсу, отриманий шляхом накопичення усіх періодів за півтори години спостережень в смузі 25 ± 2 МГц. На правій панелі приведено яскравіше зображення накопиченого сигналу пульсара від міри дисперсії.

Для підвищення точності визначення міри дисперсії для усіх пульсарів була використана повна смуга спостережень. Ми оцінили інтервали допустимих помилок DM, при яких С/Ш падає в 2 і 10 разів. Величина цих інтервалів для різних пульсарів неоднакова і залежить від багатьох чинників, у тому числі: форми середнього профілю, ширини імпульсу, залишкового рівня перешкод у позаімпульсній області випромінювання і так далі. Приблизно ці інтервали дорівнюють ± 0.02 і ± 0.05 пк см⁻³. На рис. 4 вони позначені пунктирною і точковою прямими, відповідно. Для збільшення чутливості необхідно розширювати смугу прийому, що веде до звуження допустимого інтервалу помилок в мірі дисперсії. При цьому значенні, сигнал пульсара розмивається і слабшає настільки, що відрізнити імпульсну компоненту від позаімпульсної області стає неможливо.

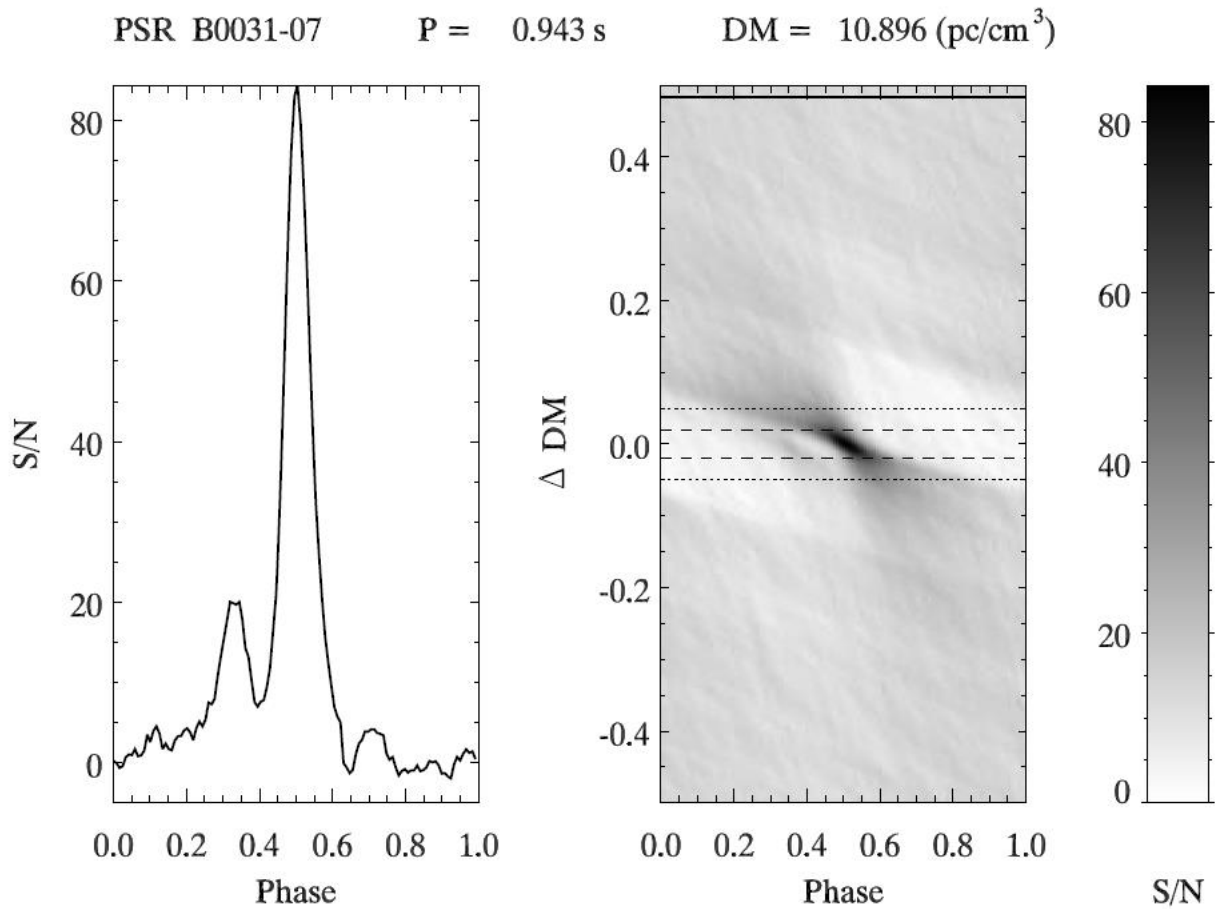


Рис. 4. Середній профіль, що відповідає перерізу з оптимальною мірою дисперсії, для пульсара B0031 - 07 (ліворуч). Яскравіше зображення в координатах "Фаза періоду - Міра дисперсії" (праворуч). Інтервали допустимих помилок $\Delta DM \pm 0.02$ (пунктирна лінія) і ± 0.05 (точкова лінія) пк см⁻³, при яких З/Ш падає в 2 і 10 разів. Жирною прямою позначено значення DM з каталогу [5]. При широкосмугових низькочастотних спостереженнях виявлення пульсара з таким значенням DM неможливе.

Отримані нами міри дисперсії з урахуванням помилок Зведені в таблицю. 1. Дані про міру дисперсії в різних роботах дещо відрізняються [5, 593 puls]. Для порівняння в таблиці. 1 представлені дані найповнішого каталогу [5].

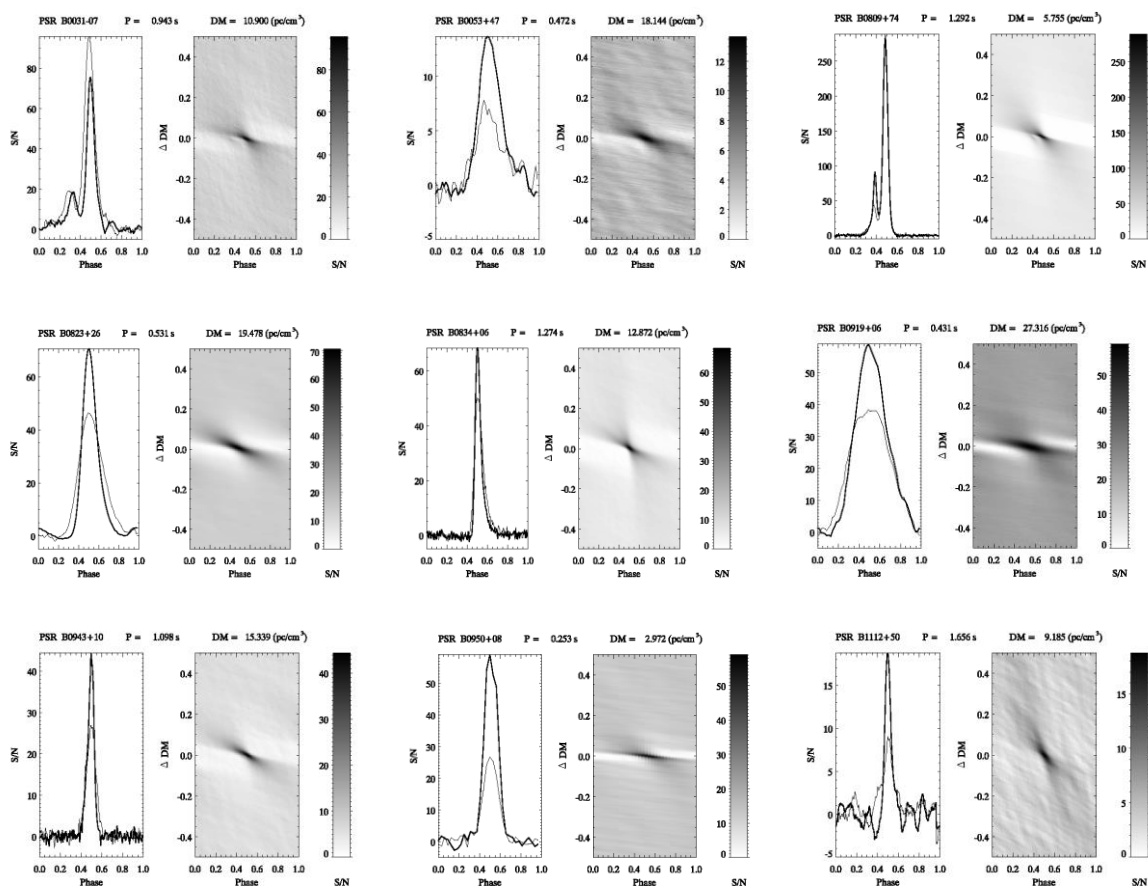
Таблиця 1. Значення міри дисперсії, наведені в каталозі [5] та отримані в даній роботі для знайдених пульсарів.

№	Name	DM	Err	DM n	Err	№	Name	DM	Err	DM n	Err
1	B0031-07	11.38	8	10.896	10	21	B1508+55	19.613	20	19.622	10
2	J0051+0423	13.9	1	13.936	10	22	B1530+27	14.698	18	14.706	10
3	B0053+47	18.09	4	18.144	10	23	B1540-06	18.403	4	18.303	100
4	B0148-06	25.66	3	25.661	10	24	B1604-00	10.682	5	10.688	10
5	B0320+39	26.01	3	26.162	10	25	B1612+07	21.39	3	21.402	10
6	B0329+54	26.833	10	26.783	10	26	B1633+24	24.32	4	24.540	10
7	B0450+55	14.495	7	14.602	10	27	J1741+2758	29.3	6	29.146	10
8	B0809+74	6.116	18	5.755	10	28	B1822-09	19.38	4	19.408	10
9	B0823+26	19.454	4	19.474	10	29	B1839+56	26.698	11	26.804	10
10	B0834+06	12.889	6	12.872	10	30	J1851-0053	24	4	24.556	10
11	B0919+06	27.271	6	27.316	10	31	J1908+0734	11.104	11	11.234	50
12	J0927+23	23	2	24.032	10	32	B1919+21	12.455	6	12.435	10
13	B0940+16	20.32	5	20.354	10	33	B1929+10	3.180	4	3.180	10
14	B0943+10	15.4	5	15.339	10	34	B1944+17	16.220	16	15.720	10
15	B0950+08	2.958	3	2.972	10	35	B1952+29	7.932	7	7.870	10
16	B1112+50	9.195	8	9.185	10	36	B2016+28	14.172	4	14.200	10
17	B1133+16	4.864	5	4.846	10	37	B2110+27	25.113	4	25.114	10
18	J1238+21	17.5	12	17.968	10	38	J2307+2225	7.08	3	6.842	10
19	B1237+25	9.242	6	9.268	10	39	B2310+42	17.2758	13	17.256	50
20	B1322+83	13.312	18	13.312	10	40	B2315+21	20.906	7	20.904	20

1.3. Результати.

В результаті проведеної роботи було продетектировано 40 пульсарів з повної вибірки (74 джерела). Слід сказати, що в цій вибірці існує тільки 8 пульсарів, характеристики випромінювання яких в декаметровому діапазоні раніше були опубліковані. Після уточнення міри дисперсії отримані середня щільність потоку і спектральні індекси по відношенню до відомої максимальної щільності потоків [] у діапазоні метрових хвиль відповідних пульсарів. Також визначена ширина середніх профілів по рівню 0.5 і 0.1 від максимальної інтенсивності і постійна часу розсіювання на 25 МГц. Розраховані спектральні індекси для постійних часу розсіювання по відношенню до каталогізованих даних на частоті 1 ГГц. Для інших пульсарів отримані верхні межі щільності потоку, що відповідає рівню 4σ .

На рис. 5 зображені середні профілі 15 пульсарів з високим співвідношенням З/Ш на частотах: 25 МГц (смуга 23.27 МГц, жирної кривої) і 20 МГц (смуга 18.22 МГц, тонкої кривої). Ці частоти вибрані, оскільки властивості радіотелескопу УТР-2 для них добре відомі, і щільність потоку радіоджерел вимірюється з достатньою точністю.



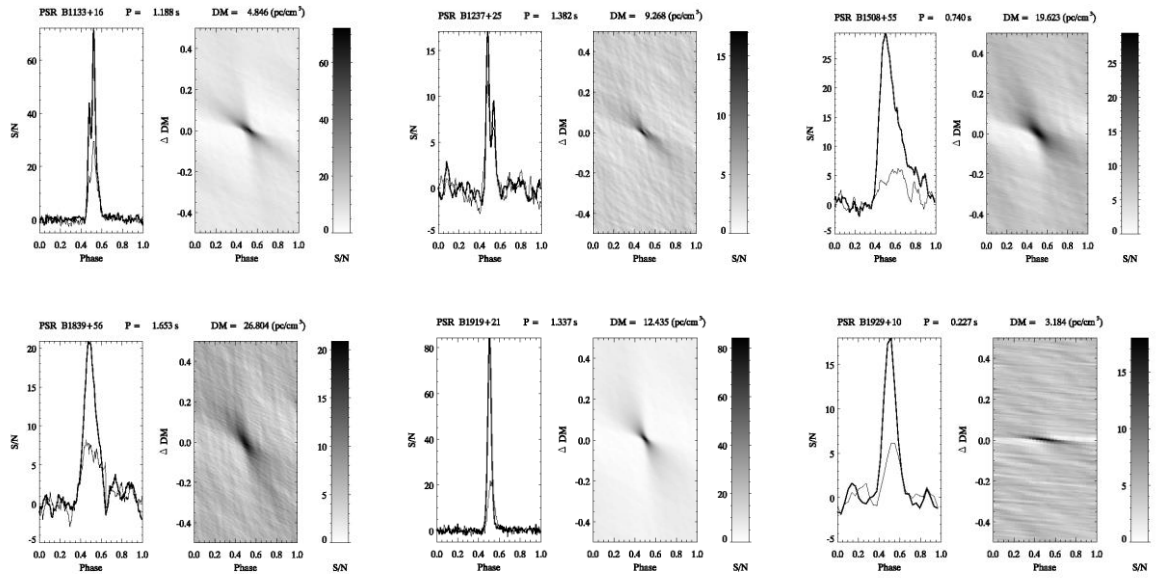


Рис. 5 Середні профілі і яскравісні зображення площини "фаза періоду - міра дисперсії" усіх продетектованих нами пульсарів.

2 Використання комп'ютерних ресурсів для отримання результатів проекту.

a. Необхідність використання обчислень для отримання результатів (оцінки потрібного обсягу ресурсів, часу обчислень)

Обсяг даних радіоастрономічних спостережень в останню декаду обмежений лише наявною в Радіоастрономічному інституті сховищ даних, враховуючи сховища даних загального користування, "приватні" сховища та "оффлайнові" диски (такі, які підключаються при потребі). Це пов'язано з тим, що наявні в інституті реєструючи пристрої продукують практично необмежений обсяг інформації, порівняно із можливостями інституту по її обробці. Наприклад, описані в попередньому розділі астрономічні дані обчислювались протягом півроку на одній із обчислювальних нод кластеру і являють собою результат переробки 2 ТБ даних спостережень, які є, в свою чергу, результатом півторагодинних спостережень за одним джерелом (отримувалися 3000 різних мір дисперсії для кожного відрізка в 22 ГБ). Використання кластеру дає вигоду у 20 разів порівняно із РС близької потужності за рахунок паралелізації та дещо кращої організації коду при його адаптації під Linux. Заслання цих задач в глобальний грид на даному етапі вважаємо недоцільним, бо час на передачу величезних обсягів даних в грид та передачу чималих результатів через порівняно невисокі зовнішні канали "з'їсть" увесь вигоду в використанні зовнішніх величезних потужностей. Проте, коли наступні версії нашого ПЗ дозволять знаходити оптимальні зображення пульсарів в повністю автоматичному режимі (зараз проміжні результати переглядаються оператором), однократне в грид матиме сенс.

b. Стислий перелік необхідного прикладного програмного забезпечення.

Ми використовували gcc та g77 компілятори для переробки нашого коду pulsar під Linux.

c. Адаптація цього ПЗ (якщо необхідно) до використання грид-технологій,

Не було необхідно.

d. Яким чином використовувалась грид-інфраструктура (українська, або інша). Якого типу грид-середовище (ARC, gLite) було використане.

Ми використовували грид-кластер Радіоастрономічного інституту, який належить до Українського Академічного Гриду. Кластер працює під nordugrid-arc-1.2.1 і globus-4.0.8-0.12.el5ng. Проте, ми запускали наші задачі лише локально, на кластері, а грид використовували лише в тестовому режимі.

е. В якій віртуальній організації здійснювалися обчислення.

Н/В.

ф. Перелік ґрід-користувачів, що брали участь в обчисленнях та їх DN

Н/В.

г. Скільки задач було обчислено, на яких ґрід-кластерах, середній час обчислення одної задачі, загальна тривалість обчислень.

90 задач, приблизно 24 години на задачу. Під задачу виділялася одна нода кластеру. Обчислення тривали півроку.

h. Приклади завдань, мовою опису завдання, які відправлялися в ґрід для обчислень.

Н/В.

і. Як ці програми та розроблені засоби можуть бути використані іншими користувачами. Чи є їх текстові описи та інструкції щодо використання. Де зберігаються програми, скріпти та текстові описи.

Наші програми призначено для обробки даних, отриманих від DSP процесорів і ПЗ, створених і/або налаштованих в нашому інституті [6]. Програми є специфічними за призначенням, оскільки шукають слабкий сигнал пульсарів на тлі різноманітних радіоперешкод. Тому вони можуть бути цікавими лише користувачам, які отримують подібні за структурою дані на такому самому обладнанні. Програми зберігаються на кластері Радіоастрономічного інституту та локальних машинах наших користувачів.

j. Які ґрід-сервіси, веб-портали, веб-сторінки тощо було розроблено і застосовано, або впроваджено.

В інституті започатковано створення веб- каталогу ультра-низькочастотних небесних радіоджерел телескопу УТР-2 <http://www.ri.kharkov.ua/decameter/utr2/>. Інститут є учасником Української віртуальної обсерваторії <http://www.ukr-vo.org/>.

к. Які зміни необхідно зробити в ґрід-інфраструктурі України для того, щоб ваші завдання виконувалися більш ефективно.

Головною перешкодою на шляху радикального підвищення ефективності обробки даних спостережень в Радіоастрономічному інституті лишається відсутність високошвидкісного каналу зв'язку із Радіоастрономічною обсерваторією УТР-2. Брак коштів на його побудову "з нуля" змушує інститут шукати різні дещо дивні шляхи створення такого каналу за рахунок добрих стосунків із різними провайдерами зв'язку, які можуть побудувати канали для власних потреб в потрібному інституті напрямку. Нажаль, в таких стосунках провайдери в першу чергу керуються власними інтересами, ані ж інтересами української науки, і навіть участь інституту в Програмі інформатизації НАН не

врятувала в 2011 році інститут від провалу в побудові такого каналу. Незважаючи на це інститут сподівається, що рано чи пізно тим чи іншим шляхом ми подолаємо цю перешкоду і УТР-2 буде пов'язано із всесвітнім павутинням, європейськими астрономічними мережами і Українським академічним ґридом. Ми надіємося на всебічну підтримку в цьому питанні Національної академії України як в рамках Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування ґрид-технологій, так і поза її межами.

I. Чи використовуєте ви ґрид-інфраструктуру європейських проектів.

Якщо так, то яких і наскільки інтенсивно.

Ні, хоча плануємо, коли з'являться достатній канал зв'язку із обсерваторією УТР-2.

3 Модернізація комп'ютерних ресурсів .

Попереднє використання кластеру Радіоастрономічного інституту довело, що вузьким місцем при обробці великих масивів даних є передача даних через кластерний інтерконект, а також необхідність збільшення обсягів кластерного сховища даних. Тому в рамках модернізації кластеру за рахунок проекту було вирішено закупити сервер-файлосховище, одночасно поєднавши можливість складування даних і їх обробку без використання інтерконекту. Було придбано сервер на платформі SuperChassis 846E2-R900B 4U із дисковим масивом 40 ТБ в RAID6 із можливістю нарощування обсягу даних, що зберігаються, до 240 ТБ за рахунок придбання аналогічних платформ у перспективі. Сервер містить два процесори Xeon (4-core) E5620 (2.40Hz/12M) і має обсяг оперативної пам'яті DDR3 DIMM ECC 1333MHz 16GB, тобто 2 ГБ на ядро процесора. Також, сервер обладнано графічним процесором на базі відеокарти GeForce GTX590 with CUDA GigaByte GDDR5 768 bit для проведення розрахунків за допомогою високої паралелізації. Крім того, за рахунок проекту було:

1. модернізовано існуючі два сховища даних шляхом додавання в них процесорів Xeon (4-core) X5355 (2.66Hz/8M) і оперативної пам'яті до 20 ГБ загалом. Тим самим було підвищено власні обчислювальні можливості серверів-сховищ даних за рахунок відносно невеликої суми коштів.
2. проведено заміну акумуляторів в системі безперебійного живлення кластеру,
3. а також придбано свіч HP V1910-24G 24 порти RJ-45 10/100/1000 із чотирма оптичними гігабітними портами, які прибрали дефіцит таких портів в кластері (що є актуальним при подальшому розвитку локальних та зовнішніх оптичних мереж в інфраструктурі інституту).

3.1. Перелік обладнання, яке було закуплено.

Кіл-ть	Найменування	Примітка
1	Корпус SuperChassis 846E2-R900B (Black) 4U Rackmount Chassis.	Новий сервер-сховище даних
1	Системна плата X8DTE-F Motherboard Intel 5520 (Tylersburg-36D) Chipset	
1	Контролер RAID AOC-USAS2LP-H8iR (2108 Low-profile USAS Card with RAID 0, 1, 5, 6, 10, 50, 60; 8-in supports 240 HDDs)	
2	Процесор Xeon (4-core) E5620 (2.40Hz/12M LGA1366) із радіатором SNK-P0038P 2U Heatsink for S1366 Xeon Nehalem 55xx	
4	Модуль пам'яті DDR3 DIMM ECC 4Gb 1333MHz	
18	Накопичувач (3.5", 2ТБ, Serial ATA)	
1	Відеокарта 3072MB PCI-E GeForce GTX590 with CUDA GigaByte GDDR5	

2	Процесор Xeon (4-core) X5355 (2.66Hz/8M LGA 771)	Модернізація існуючих сховищ даних
8	Модуль пам'яті 2GB 667MHz DDR2 ECC Fully Buffered	
1	Комутатор HP V1910-24G 24 порти RJ-45 10/100/1000	Модернізація інфраструктури ЛОМ РІ
64	Акумуляторная батарея Mastak 1250 12V 5Ah	Продовження строку життя UPSів

3.2. Кластер та ЛОМ РІ.

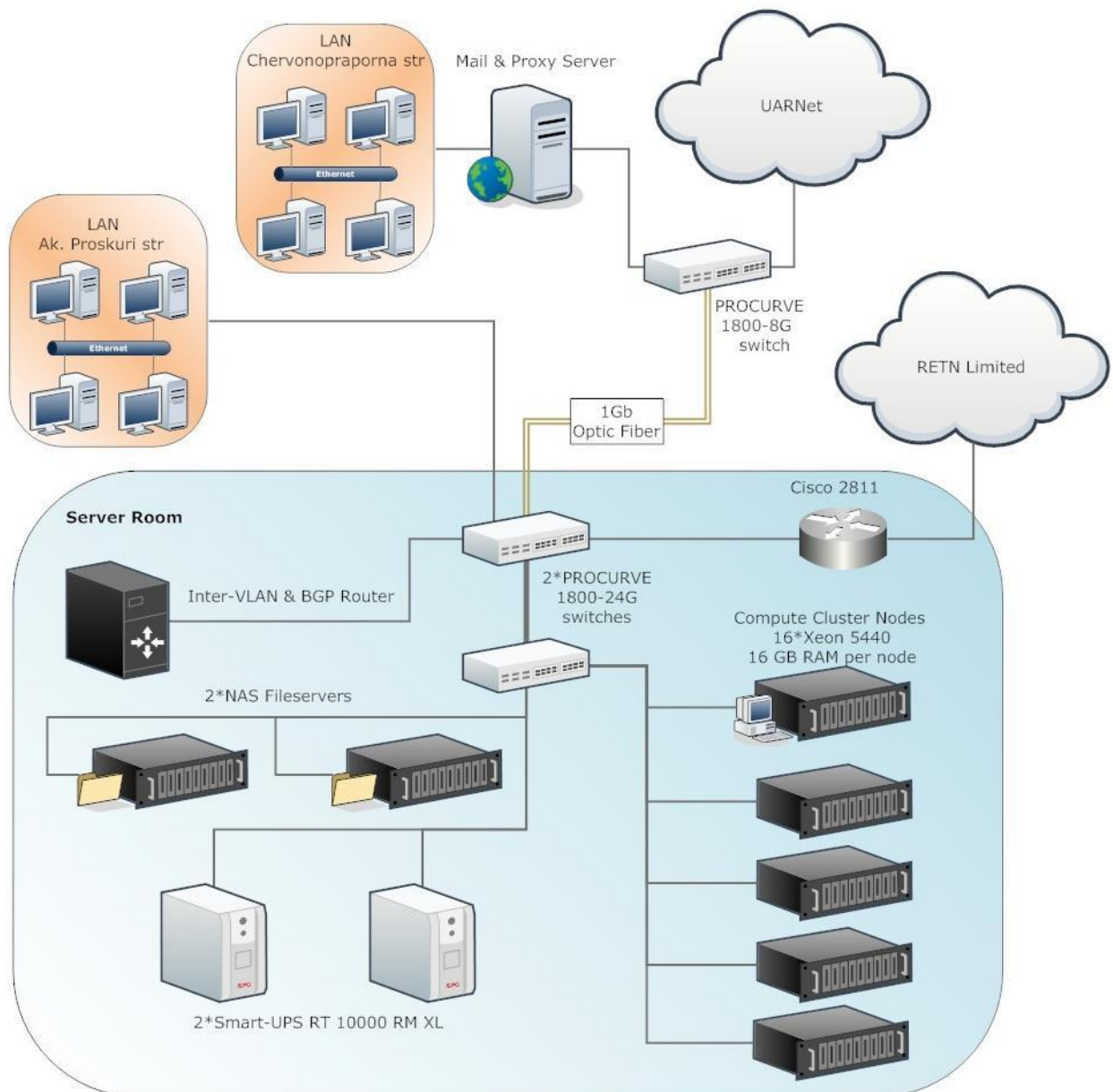


Рис.6 Обчислювальний кластер в структурі ЛОМ Радіоастрономічного інституту НАН України.

У Радіоастрономічному інституті НАН України в 2007 р. побудований обчислювальний кластер з продуктивністю 680ГФлопс при роботі з 64-х розрядними

числами. Кластер базується на подвійних двопроцесорних платформах Superserver 6015T - INFV з двома процесорами Intel Xeon E5440 кожна. На усіх вузлах кластера, окрім керуючого, встановлена операційна система Linux 2.6.25 - gentoo - r7. Оптичними каналами зв'язку кластер включений в логічну інфраструктуру інституту, грид-мережі НАН і мережі Інтернет. Кластер відповідає вимогам грид-узла рівня Tier - 3 по прийнятій в ЦЕРНе термінології.

Технічні характеристики.

Керуючий вузол кластеру:

2x Intel® Xeon® CPU E5455, 16Gb memory, 2x 250Gb HDD

Операційна система: Scientific Linux, ядро 2.6.18-53.1.4.el5

Обчислювальні вузли (4 подвійних вузла):

Superserver 6015T-INFV -

4x Intel® Xeon® CPU E5440, 32Gb memory, 2x 250Gb HDD

Операційна система: Linux 3.1.5-gentoo-r7

Сховища даних (NAS, Samba, FTP, HTTP...)

4 штуки по 40, 20, 7.5, 5 терабайт RAID 6 (RAID 5)

1. 2 Xeon (4-core) E5620 (2.40Hz/12M), 16 GB RAM (новий)

3. 2 Xeon (4-core) X5355 (2.66Hz/8M), 10 GB RAM (модернізовані)

Інститут має у своєму розпорядженні два зовнішні підключення до провайдерів зв'язку УАРНЕТ та РЕТН ємністю 60 та 30 Мбіт/с. Інститут міститься на двох основних майданчиках в м. Харкові, які поєднано оптичним лінком із спроможністю 1 Гбіт за сприяння оператора УАРНЕТ. Крім того, УАРНЕТ забезпечує 100 Мбіт/с з'єднання ЛОМ інституту із обсерваторією УРАН-4 в м. Одесі. Обсерваторії інституту в мм. Зміїв, Мартова та Євпаторія мають власні підключення до інтернету через Укртелеком та під'єднуються до ЛОМ інституту за допомогою VPN. Головна проблема мережі – відсутність нормального зв'язку із обсерваторією УТР-2, яку інститут намагався вирішити через Програму інформатизації НАН, але потерпів невдачу в 2011 році. Проте, ми не втрачаємо надії, що в майбутньому зможемо майже задарма створити 80-км канал передачі даних ємністю до 1 Гбіт.

Висновки

В результаті виконання проєкту вдалося значно пришвидшити та удосконалити процедуру обробки даних радіоастрономічних спостережень. Модернізовано ґрид-кластер Радіоастрономічного інституту, значно збільшено ємність його сховищ даних, дещо підвищено його обчислювальні можливості. Існуючі програми обробки даних спостережень удосконалено і перероблено для роботи в багатопотоковому режимі під керівництвом ОС Linux. Це дозволило дослідникам уперше показати, що в декаметровому діапазоні можливе детектування і дослідження більшості близькорозташованих пульсарів. Це є вагомою підставою для проведення повного огляду Північного неба з метою пошуку пульсарів і транзієнтних джерел в найближчому галактичному оточенні.

Завдяки розширенню конуса радіовипромінювання нейтронних зір низькочастотний діапазон може надати унікальну інформацію про найближчі джерела того, що повторюється і, особливо, транзієнтного випромінювання (RRAT, велетенські імпульси пульсарів).

З характерного часу розсіяння в декаметровому діапазоні τ_{S25} отримана верхня оцінка спектрального індексу параметрів розсіяння на частотах $\alpha_{SC25-1000}$. Отримані значення розширення конуса випромінювання пульсарів до низьких частот, які добре узгоджуються з відомими з літературних джерел, що дозволяє сподіватися на виявлення нових джерел транзієнтного і імпульсного випромінювання, недоступних для спостереження на високих частотах. Це переконує в корисності і необхідності проведення огляду північного неба в низькочастотному діапазоні.

Застосування веб-технологій в обробці даних радіоастрономічних спостережень дозволило розпочати створення каталогу ультра-низькочастотних небесних радіоджерел телескопу УТР-2. Продовження цієї роботи дозволить зробити його інтерактивним і значно розширити його наповнення, зробивши його зручнішим у користуванні.

Література

1. М.В. Попов, А.Д. Кузьмин, О.М. Ульянов и др. Мгновенные спектры гигантских импульсов пульсара в Крабовидной туманности от дециметрового до декаметрового диапазона радиоволн. *Астрон. журн.*, 2006, т. **83**, №7, с.630-637.
2. Detection of crab giant pulses using the mileura widefield array low frequency demonstrator field prototype system N. D. Ramesh Bhat, Randall B. Wayth, Haydon S. Knight, Judd D. Bowman, Divya Oberoi, David G. Barnes, Frank H. Briggs, Roger J. Cappallo, David Herne, Jonathon Kocz, Colin J. Lonsdale, Mervyn J. Lynch, Bruce Stansby, Jamie Stevens, Glen Torr, Rachel L. Webster, and J. Stuart B. Wyithe *ApJ*, **665**, 618-627, 2007
3. Löhmer et al. 2001 *ApJ* **562** - L157
4. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // Антен- ны. – М: Связь. – 1978
5. [ATNF Pulsar Catalogue](http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/), <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>
6. Ryabov, V.B., Vavriv, D.M., Zarka, P., Ryabov, B.P., Kozhin, R.V., Vinogradov, V.V. and Denis L., 2010. A low-noise, high-dynamic-range, digital receiver for radio astronomy applications: an efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz, *A&A*, **510**, A16

Додаток 1 Стислий перелік досягнутих результатів.

а. Перелік завдань і заходів (за Програмою), що виконувались з зазначенням коштів, що використані для виконання кожного з них.

Завдання	Заходи	Фінансування, тис. грн..		
			План	Факт
1. Створення і розвиток матеріально-технічної бази національної грід-інфраструктури, інтегрування її у міжнародний грід-простір	1.4 Побудова нових та посилення існуючих кластерів і грід-платформ доступу в провідних академічних інститутах.	а.Кап. Вид.	70,0	70,0
		б.Пот. Вид	13,5	13,5
		Разом:	83,5	83,5
4. Розробка та впровадження грід-технологій в науково-технічну та соціально-економічну сфери діяльності	4.1 Використання грід-технологій в фундаментальних наукових та науково-прикладних дослідженнях.	в.Кап. Вид.	0	0
		г. Пот. Вид	16,5	16,5
		Разом:	16,5	16,5
Проект в цілому		Кап. Вид.	70,0	70,0
		Пот. Вид	30,0	30,0
		Разом:	100,0	100,0

б. Використання комп'ютерних ресурсів для отримання результатів

а-б. 70 тис. грн. капітальних видатків та 13,5 тис. грн. поточних видатків було використано на модернізацію обчислювального кластеру PI НАН України. А саме, за 3.7 тис. капітальних грн. придбано свіч HP V1910-24G, за 6.6 тис. поточних – батареї на заміну в системі безперебійного живлення. Решта (66.3 капітальних + 6.9 поточних) витрачено на модернізацію системи збереження даних обчислювального кластеру PI. Створено новий потужний сервер – сховище даних обсягом 40 ТБ, модернізовано існуючі сервери-сховища (додано процесори та оперативну пам'ять), що дозволяє пришвидшити паралельну обробку великих масивів даних радіоастрономічних спостережень. Чисельні експерименти довели, що виключення передачі даних через інтерконект пришвидшує обробку великих масивів в 3-10 разів на задачах пошуку пульсарів по мірі дисперсії.

г. 16.5 тис. гривень, точніше 8.2 тис грн.. зар. платні наукових співробітників та інженерів-програмістів (решта із 16.5 – нарахування на зарплату, відрядження та накладні витрати) було витрачено на адаптацію існуючого власного ПЗ для роботи під Linux із можливістю паралелізації розрахунків, яке, по суті, потребувало його повної переробки. Це дозволило удосконалити і на порядок пришвидшити обробку даних радіоастрономічних спостережень, що, в свою чергу довело можливість детектування і дослідження більшості близькорозташованих пульсарів в декаметровому діапазоні. Розпочато створення каталогу ультра-низькочастотних небесних радіоджерел телескопу УТР-2.