

В. А. Санамян

Об одной возможности увеличения избирательности интерференционных радиотелескопов

Одной из основных характеристик радиотелескопов является степень их избирательности, т. е. возможности разделения близких источников и точного определения их координат.

На более коротких (сантиметровых и дециметровых) волнах высокая разрешающая сила в основном достигается прямым путем за счет увеличения размеров антенн радиотелескопов. На длинных волнах прямой путь увеличения разрешающей силы ограничен техническими трудностями строительства антенн очень больших размеров и высокая избирательность достигается косвенным путем, применением интерферометров различных систем.

В данной работе предлагается новый метод, который позволяет при заданных размерах антенны и базы радиоинтерферометра значительно увеличить его разрешающую способность.

Основная идея этого метода заключается в том, что прежде чем суммировать сигналы от двух антенн радиоинтерферометра, их предварительно усиливают, затем с помощью многократного нелинейного преобразования их возвышают в степень, после чего только суммируют на входе приемника.

§ 1. Анализ метода

Пусть две антенны радиоинтерферометра расположены на расстоянии „D“ вдоль линии восток—запад, приемник помещен в середине между ними. Для простоты предположим, что обе антенны направлены по меридиану и остаются неподвижными, а источник радиоизлучения совершает свое видимое суточное движение и проходит через плоскость меридиана.

Обозначим напряжение сигнала источника радиоизлучения на входах антенн радиоинтерферометра соответственно через комплексные функции:

$$\dot{E}_1 = E(\theta)e^{i\omega_0 t}, \quad \dot{E}_2 = E(\theta)e^{i(\omega_0 t + \tau)},$$

где $E(\theta)$ — функция, зависящая от интенсивности радиоизлучения источника и диаграммы направленности антенн, ω_0 — круговая частота

сигнала, θ — угол между направлениями на источник и плоскостью меридиана, φ — характеризует разность фаз между напряженностями полей, создаваемых источником в антеннах радиоинтерферометра, обусловленную разностью хода для двух антенн и выражается формулой

$$\varphi = \frac{2\pi D}{\lambda_0} \sin \theta. \quad (1.1)$$

Здесь λ — длина волны.

Если считать, что электрические длины кабелей от каждой антенны до приемника одинаковы, то напряжение на входе приемника от поступающей монохроматической волны, в обычном случае интерференции, выразится суммой

$$\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 = E_0(\theta) [1 + e^{i\varphi}] e^{i\omega_0 t}.$$

Когда входной прибор приемника реагирует, как это обычно бывает, на мощность, то показания его $P(\theta)$ будут пропорциональны величине

$$P(\theta) = |\dot{E}_1 + \dot{E}_2|^2 = 2P_0\Phi_0(\theta) [1 + \cos\varphi], \quad (1.2)$$

где P_0 — мощность, которая попадала бы в приемник от одной эквивалентной ненаправленной антенны, $\Phi_0(\theta)$ — функция пропорциональная произведению характеристик направленности антенн.

Ширина лепестка интерференционной картины ψ , т. е. угловая ширина между двумя последующими максимумами, выражается формулой

$$\psi = \frac{\lambda_0}{D \cos \theta \cos \delta}, \quad (1.3)$$

где δ — склонение наблюдаемого источника.

Допустим теперь, что после предварительного усиления сигналы от обеих антенн радиоинтерферометра прежде чем их суммировать пропускаются через идентичные нелинейные четырехполюсники, в которых они путем многократного преобразования возвышаются в N степень. Тогда напряжение сигнала на входе приемника выразится формулой

$$\dot{E}_N = \dot{E}_1^N + \dot{E}_2^N = E_0^N (1 + \cos e^{iN\varphi}) e^{iN\omega_0 t}$$

Для выходной мощности сигнала после аналитического преобразования получим

$$P_N(\theta) = \Phi_1(\theta) [1 + \cos N\varphi]; \quad \Phi_1 = [P_0\Phi_0]^N. \quad (1.4)$$

Для значения ширины лепестков интерференционной картины будем иметь

$$\psi_N = \frac{\lambda_0}{DN \cos \theta \cos \delta} = \frac{\psi}{N}. \quad (1.5)$$

Из формул (1.4) и (1.5) следует, что:

а) После вышеуказанного преобразователя выходная мощность сигнала становится пропорциональной не произведению характеристик направленности антенн радиоинтерферометра, как и в обычном случае интерференции, а зависит от N -ой степени этого произведения. В результате этого резко усилится центральный максимум диаграмм, что эквивалентно сужению результирующей диаграммы направленности антенн радиоинтерферометра.

Связь между углами θ_0 и θ_1 , соответствующими уровню половинных мощностей нормированных характеристик направленности Φ_0 и Φ_1 , можно определить из соотношения (см. фиг. 1)

$$\Phi_0(\theta_0) = \Phi_1(\theta_1) = [\Phi_0(\theta_1)]^N.$$

В частности, когда основная диаграмма направленности приближенно выражается через косинус, то при достаточно малом значении θ_1 (или больших N) это соотношение выразится формулой

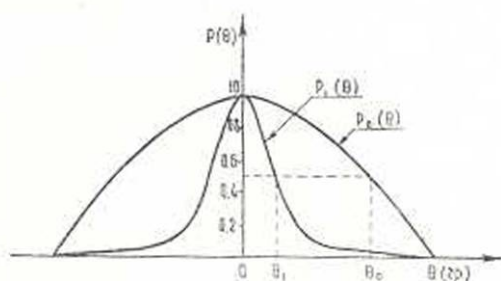
$$\theta_1 = \frac{\sin \theta_0}{\sqrt{N}}; \quad \left(\text{при малых } \theta_0, \theta_1 \approx \frac{\theta_0}{\sqrt{N}} \right),$$

т. е. при заданной начальной диаграмме направленности антенны ширина результирующей диаграммы обратно пропорциональна корню из числа N , на которое умножается частота основного сигнала.

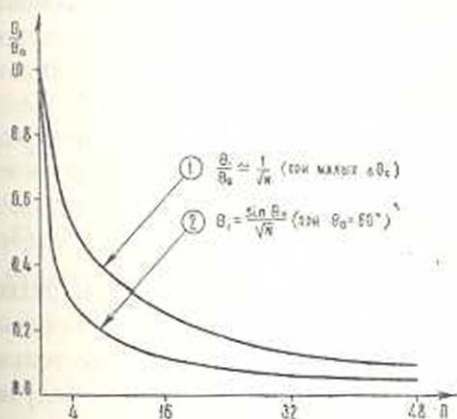
Кривая зависимости угла θ_1 от N приведена на фиг. 2. Ее крутизна уменьшается в сторону больших N . Следовательно, более эффективное сужение диаграммы имеет место при небольших значениях N .

б) Ширина лепестка результирующей интерференционной картины уменьшается в N раз по сравнению с шириной лепестка данного интерферометра. Это обусловлено так же тем,

что при заданной базе радиоинтерферометра, для кратной волны скорость изменения фазы сигнала, принимаемого отдельными антеннами, больше,



Фиг. 1.



Фиг. 2.

чем у фазы сигнала основной волны. Соответственно увеличивается скорость прохождения лепестков интерференционной картины.

Оба перечисленных результата преобразования, фактически, приводят к повышению разрешающей способности интерференционного радиотелескопа.

§ 2. О практическом осуществлении предлагаемого метода

Чтобы возвысить сигнал в N -ую степень практически достаточно, после каскада предварительного усиления, прибавить каскады, работающие в режиме умножения частоты, т. е. в нижней нелинейной части характеристики лампы. Если, в частности, характеристика каскада квадратичная, то на его выходе сигнал будет пропорционален квадрату приложенного на входе сигнала. Если вместо одного каскада использовать k таких последовательных каскадов, то сигнал может быть возведен в N степень, определяемую из соотношения

$$N = z^k \quad k = 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

Разумеется, между двумя преобразующими каскадами [скажем $(p-1)$ и p] нужно произвести усиление сигнала с помощью резонансного усилителя, настроенного на частоте $p\omega_0$ ($p = 1, 2, \dots$). Усиление этих каскадов должно быть достаточно большим, чтобы шумы, вносимые последующим преобразователем, были возможно малы.

§ 3. Некоторые замечания

1. Предлагаемый метод пригоден также для радиоинтерферометра с переключением фазы. Однако, в этом случае, для изменения фазы сигнала в одном плече радиоинтерферометра на 180° , нужно менять его длину не на $\lambda_0/2$ как в обычном случае, а на величину $\lambda_0/2N$, где λ_0 — длина применяемой волны до преобразования.

Переменная составляющая выходной мощности в этом случае будет определяться формулой

$$P_{-N} = 4|P_0\Phi_0(\theta)|^N \cos N\tau. \quad (3.1)$$

2. Описанный выше способ „сужения“ диаграммы антенны радиоинтерферометра пригоден также и для радиотелескопов с одиночными антеннами. В статье этот вопрос не обсуждается в общем виде только потому, что применение этого метода более эффективно в случае приема радионизлучения на длинных волнах, на которых, в основном, применяются радиоинтерферометры различных типов.

3. В процессе вышеуказанного преобразования будут подавляться сигналы, принимаемые по направлению боковых лепестков диаграммы антенны радиотелескопа. Например, для синфазной антенны, состоящей из 8-ми элементов, расположенных вдоль одной линии, интенсивность первого бокового лепестка по мощности составляет

около 4% от интенсивности главного лепестка. После выполнения же, скажем, однократного преобразования, интенсивность будет составлять всего 0,6%, а при двухкратном преобразовании—0,00025%.

4. Предлагаемый метод может оказаться очень практичным, когда одно и то же зеркало антенны используется для приема сигнала на различных длинах волн путем смены системы облучения. В этом случае основной приемник, фазопереключающее устройство и различные согласующие элементы можно без изменения использовать для приема сигналов различных длин волн. Например, если основная приемная аппаратура работает на длине волны λ_0 , то последовательно настраивая приемную антенну на длину волн $2\lambda_0$, $4\lambda_0$... и соответственно добавляя 1,2... каскадов квадратичных преобразователей, ее можно без изменения использовать для приема сигнала на этих кратных длинах волн. Задача более упрощается, когда антенна сама широкополосная.

5. При каждом преобразовании будет меняться отношение шума к сигналу, как это имеет место при любом преобразовании частот. Этот вопрос, разумеется, требует самостоятельного исследования. Однако, можно сказать, что если производится достаточно большое предварительное усиление на основной частоте УВЧ, то шум-фактор всего тракта в основном будет зависеть от шум-фактора предусилителя. Кроме того, когда вопрос относится к приему сигнала, мощность которого превышает порог чувствительности, отнесенной к входу усилителя первой основной частоты (а на практике радиозрелистических наблюдений мы чаще всего имеем дело с такими сигналами), то можно показать, что в процессе вышеуказанного преобразования отношение шума к сигналу не только не ухудшается, а, наоборот, может улучшаться, если шумы, вносимые самим преобразователем, не велики.

6. Применение указанного преобразования сигнала открывает новые возможности для измерения угловых размеров космических источников радионизлучения. Для этой цели, вместо обычно применяемого радионтерферометра с переменными базами, можно использовать радионтерферометр с постоянной базой, но производить разное число преобразований сигналов.

Бираканская астрофизическая обсерватория

Академии наук Армянской ССР

Поступила 8 IV 1961

Վ. Ս. Սահակյան

ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՆ ՌԱԴԻՈԴԻՏԱԿՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ
ԸՆՏՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾԱՅՄԱՆ ՄԵԿ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ
Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջարկում է նոր մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս ուղիղ-
ինտերֆերոմետրի անտեռնաների արված չափերի զեպրում, զգալիորեն մե-
ծացնել նրա տարածական ընտրողականությունը:

Մեթոդի հիմնական սկզբունքն այն է, որ ինտերֆերոմետրի անտենաների ընդունած ազդանշանները, նախքան նրանց դամարելը, ոչ գծային քառաբևեռների օգնությամբ N աստիճան են բարձրացվում, հետո դամարվում ընդունիչի մուտքում: Այդ ժամանակ ազդանշանի ամպլիտուդան, որը համեմատական է անտենայի ուղղվածությունը, N աստիճան է բարձրացվում, իսկ ֆազաների տարբերությունը, որը կախված է ճառագայթող աղբյուրի անտենաների նկատմամբ ունեցած դիրքից, բազմապատկվում է N -ով: Որպես հետևանք անտենաների էլիվիալինա դիաֆրամը նեղանում է $\sqrt{N}$ անգամ, իսկ ինտերֆերենցիոն պատկերի թերթիկի լայնությունը՝ N անգամ:

Արվում են դիտողություններ քննարկվող մեթոդը ռադիոաստղադիտական դիտումների համար կիրառելու հնարավորությունների մասին: