

лось ранее. Такое единообразие может быть, по-видимому, использовано для разделения вкладов различных механизмов в эффект сдвига линий. Несомненный интерес имело бы сравнительное исследование эффектов сдвига и уширения пар изоэлектронных молекул и ионов с весьма близкими значениями масс, дипольных моментов и, в ряде случаев, частот переходов (например, HCN и HCO^+ , NH_3 и H_2O^+).

ЛИТЕРАТУРА

1. Belov S. P., Kazakov V. P., Krupnov A. F., Markov V. N., Melnikov A. A., Skvortsov V. A., Tretyakov M. Yu. — J. Molec. Spectrosc., 1982, 94, p. 264.
2. Belov S. P., Krupnov A. F., Markov V. N., Melnikov A. A., Skvortsov V. A., Tretyakov M. Yu. — J. Molec. Spectrosc., 1983, 101, p. 258.
3. Pollock C. R., Petersen F. R., Jennings D. A., Wells J. S., Maki A. G. — J. Molec. Spectrosc., 1984, 107, p. 62.
4. Белов С. П., Крупнов А. Ф., Мельников А. А., Скворцов В. А. Авторское свидетельство № 1061013. Бюл. изобрет., 1983, № 46, с. 156.
5. Anderson T. G., Gudeman C. S., Dixon T. A., Woods R. C. — J. Chem. Phys., 1980, 72(2), p. 1332.
6. Boggs J. E. In Molecular Spectroscopy: Modern Research/Ed. K. N. Rao, C. W. Mathews. — N. Y.: Academic Press, 1972, p. 49.
7. Woods R. C. — J. Molec. Struct., 1983, 97, p. 195.
8. Казаков В. П., Крупнов А. Ф., Мельников А. А., Скворцов В. А. — Изв. вузов — Радиофизика, 1980, 23, № 7, с. 796.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. — М.: Наука, 1965.

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
5 июня 1985 г.

УДК 621.396.67

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В АДАПТИВНОЙ РЕШЕТКЕ С МНОЖЕСТВОМ ОГРАНИЧЕНИЙ

Б. А. Довбня

Задача построения адаптивного алгоритма работы антенной решетки (АР) с жесткими ограничениями решена в [1]. Получены достаточно простые итерационные уравнения для компонент весового вектора, однако эта простота достигнута ценой сужения области применения алгоритма, так как уравнения выведены для случая наложения ограничений только в одном направлении — ортогональном к плоскости раскрытия АР.

Возможность введения множества ограничений представляет собой удобный способ исследования адаптивных свойств АР, который позволил бы в процессе адаптации удерживать заданные значения диаграммы направленности (ДН) в нужных направлениях.

Такая возможность могла бы оказаться полезной и при использовании информации о помеховой обстановке, например для формирования постоянных нулей диаграммы направленности в направлениях на так называемые «мерцающие» помехи.

Расширение области применения алгоритма достигается путем введения требуемых условий при постановке задачи оптимального управления: минимизировать $\xi(W)$ при условиях $f_i(W) = 0$, $i = 1, 2, \dots, M$, где $\xi(W) = E[y(k)y(k)]$ — средняя мощность сигнала $y(k)$ на выходе АР, W — N -мерный комплексный весовой вектор, $f_i(W)$ — ограничения, выполняющиеся в процессе адаптивной регулировки весового вектора, M — количество вводимых ограничений.

Минимизация средней мощности выходного сигнала решетки при ограничении на чувствительность АР в направлении приема полезного сигнала эквивалентна минимизации шума в остальных направлениях [1].

Условия (ограничения) имеют вид

$$C^T W = F. \quad (1)$$

Здесь C — матрица ограничений $N \times M$, каждая i -я строка транспонированной матрицы C^T представляет вектор сигнала единичной мощности, принимаемый с направления θ_i , в котором требуется ввести i -е ограничение,

$$\left| \exp\left(\frac{j2\pi d}{\lambda} \sin \theta_i\right), \exp\left(\frac{j2\pi d}{\lambda} 2 \sin \theta_i\right), \dots, \exp\left(\frac{j2\pi d}{\lambda} N \sin \theta_i\right) \right|,$$

d/λ — отношение расстояния между соседними элементами к длине волны сигнала, F — вектор откликов АР на сигналы, представленные строками матрицы C^T .

Для нахождения условного минимума целевой функции, представленной в виде

$$\xi(W) = E[y(k)\bar{y}(k)] = E[W^T X(k)\bar{X}^T(k)\bar{W}] = W^T E[X(k)\bar{X}^T(k)]\bar{W} = W^T R \bar{W},$$

где $X(k)$ — вектор сигналов на раскрые АР, R — автокорреляционная матрица сигналов на раскрые, используется метод неопределенных множителей Лагранжа. Вводится вектор неопределенных множителей $\Lambda^T = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M]$ и рассматривается функция от $N+M$ переменных $\omega_1, \dots, \omega_N, \lambda_1, \dots, \lambda_M$:

$$\xi(W, \Lambda) = (1/2) W^T R \bar{W} + (1/2) \Lambda^T (C^T \bar{W} - F).$$

Затем определяется градиент этой функции:

$$\nabla \xi = R^T W + C \Lambda. \quad (2)$$

Оптимальный весовой вектор находится путем приравнивания градиента (2) нулю при условиях (1)

$$\begin{cases} R^T W_{\text{opt}} = -C \Lambda, \\ C^T W_{\text{opt}} = F. \end{cases} \quad (3)$$

Выражение для W , полученное при решении системы уравнений (3), можно привести к виду, полученному в [1],

$$W(k+1) = P[W(k) - \mu y(k)\bar{X}(k)] + \tilde{F}, \quad (4)$$

где μ — постоянная, определяющая скорость сходимости,

$$\tilde{F} = C(C^T C)^{-1} F; \quad (5)$$

$$P = I - C(C^T C)^{-1} C^T. \quad (6)$$

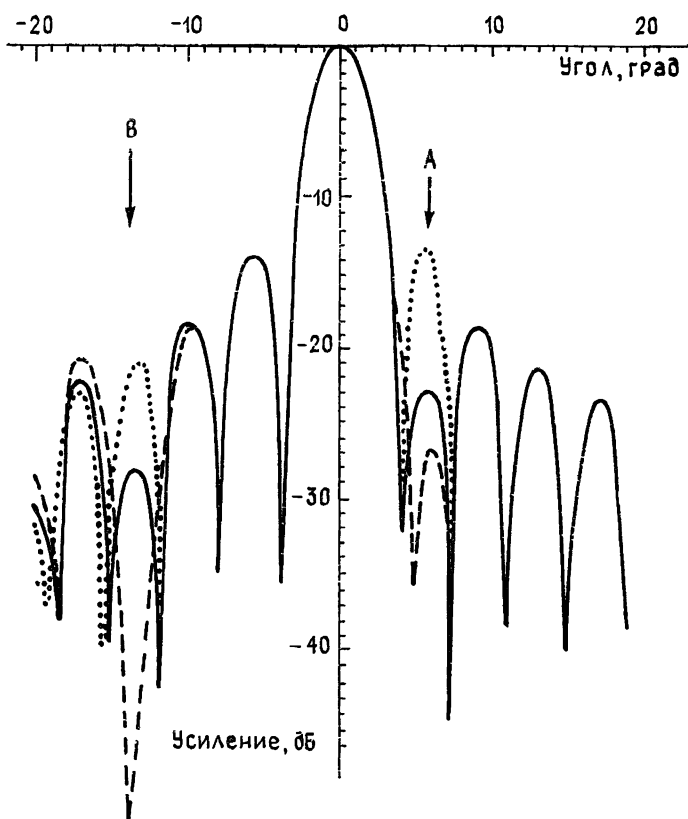


Рис. 1.

Отличие состоит в том, что здесь по-иному, чем в [1], определены матрица C и вектор F . Кроме того, все величины в (4) (за исключением μ) — комплексные, что увеличивает количество степеней свободы АР и улучшает ее адаптивные свойства.

Итерационные уравнения для компонент вессового вектора при $M > 1$ будут иметь сложный вид, так как с введением дополнительных ограничений матрица P заполняется все более плотно. В общем случае целесообразно перед адаптацией вычислить матрицу P и вектор \tilde{F} в соответствии с (5) и (6), и затем применять их в каждой итерации по алгоритму (4).

Эффективность алгоритма проверялась путем моделирования работы АР на ЭВМ. Использовалась модель АР, содержащей 30 элементов. Помеховая обстановка (при поступлении полезного сигнала с направления, ортогонального к раскрыву) определялась наличием непрерывной помехи A , уровень которой выше уровня полезного сигнала на 15 дБ, и «мерцающей» помехи B (+22 дБ). Углы прихода этих помех составляли соответственно $+5^\circ$ и -14° .

Уровень шума определялся шумом округления чисел в процессе выполнения арифметических операций и был ниже уровня полезного сигнала порядка -120 дБ.

На рис. 1 приведены участки ДН, сформированные по алгоритму (4) с ограничением только в направлении на источник полезного сигнала (сплошная линия) и с ограничениями в направлениях на источники полезного сигнала и «мерцающей» помехи (штриховая линия); исходная ДН показана пунктиром. В последнем случае вектор F имел две компоненты: I соответствовала направлению приема полезного сигнала, O — направлению на источник помехи B .

Для заданной помеховой ситуации провал в направлении на «мерцающую» помеху после адаптации во втором случае был на -90 дБ, а в направлении на непрерывную помеху — на -4 дБ ниже, чем в первом.

Кроме того, введение ограничений в направлении на источник «мерцающей» помехи позволило несколько ускорить адаптацию.

Объем выполняемых арифметических операций за время одной итерации пропорционален N^2 и не зависит от количества вводимых ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрост Ш. — ТИИЭР, 1972, 60, № 8, с. 5.

Поступила в редакцию
2 июля 1985 г.

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1985, т. 62, вып. 2.

(Окончание)

Малов И. Ф. О двух типах пульсаров.

Рассмотрены аргументы в пользу разделения пульсаров (PSR) на два класса: 1) короткопериодические PSR, описываемые моделью Смита (генерация радиоизлучения вблизи светового цилиндра) и 2) долгопериодические PSR, для которых справедлива модель полого конуса (генерация радиоизлучения на умеренных расстояниях от поверхности нейтронной звезды). Эти аргументы следующие: различие зависимости ширины импульса и полного изменения позиционного угла в среднем профиле от периода, наличие интеримпульса только у PSR 1-го типа, различие среднеквадратичных уклонов времен прихода импульсов и формы диаграммы направленности радиоизлучения, различие механизмов замедления. Показано, что с рассмотренной концепцией хорошо согласуются данные для недавно открытого PSR 1937+21 с $P=1,56$ мс. Этот PSR является типичным представителем PSR 1-го типа.

Пелюшенко С. А. Вариации интегрального радиоизлучения Солнца на волнах 6,3 и 8,6 мм.

По данным одновременных измерений с высоким разрешением распределения яркости по диску Солнца на волнах 6,3 и 8,6 мм оценены вариации S-компоненты интегрального радиоизлучения Солнца в период максимума 11-летнего цикла активности Солнца.