

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ НЕНАСЫЩЕННЫХ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ, МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ УГЛОВ ИХ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

ГРИНШПУН Р.З.

Использован метод корреляции углов амплитудно-временных характеристик отраженного сигнала, показана возможность применения этого метода к решению задачи распознавания модели дробления для регистрируемого отраженного сигнала.

Получение новой информации о сложных физических объектах связано со значительными затратами, уменьшить которые позволяют математические методы обработки данных.

Особую роль такие методы играют в ситуациях, когда исследуемый объект не доступен для прямого изучения. Задачи такого рода - обратные задачи косвенных наблюдений - составляют основу ряда научных областей, в том числе и радиолокации метеоров.

При наблюдении метеорных следов с помощью радиолокации обрабатываются амплитудно-временные характеристики (АВХ) отраженного сигнала [1], что позволяет определять параметры метеороида, породившего след (рис. 1).

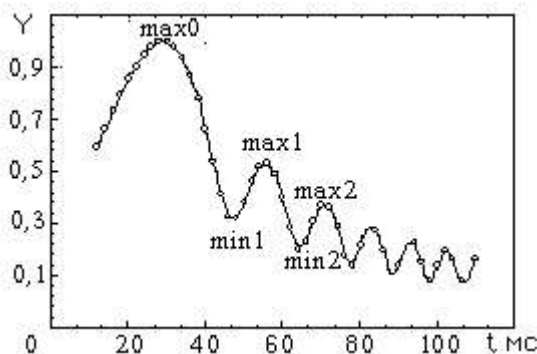


Рис. 1. Амплитудно-временная характеристика отраженного сигнала, рассчитанного по классической модели: ось ординат — величина мощности сигнала, нормированная к значению в главном максимуме, $Y=P/P_m$; ось абсцисс — время прихода зондирующих импульсов относительно начала отсчета

Однако в 70 % случаев регистрируемых сигналов на их АВХ наблюдаются нерегулярности в виде большого количества искажений в дифракционном контуре, причину которых нельзя объяснить только влиянием помех в радиоканале. Это не позволяет обрабатывать большую часть регистрируемых сигналов. Известно [2], что учет дробления метеороида в

модели образования следа и отражения от него радиоволн дает возможность объяснить многообразие форм АВХ отраженных сигналов (рис. 2). Поэтому возникает необходимость распознавания отраженных сигналов в рамках существующей их классификации по типу дробления. Решить такую задачу можно путем сравнения набора признаков, полученного из изображения АВХ регистрируемого сигнала, с набором признаков, полученным из изображения АВХ сигнала, рассчитанного по каждой модели дробления. При этом испытуемый сигнал соответствует модели, если набор признаков его изображения близок к набору признаков изображения сигнала, рассчитанного по модели.

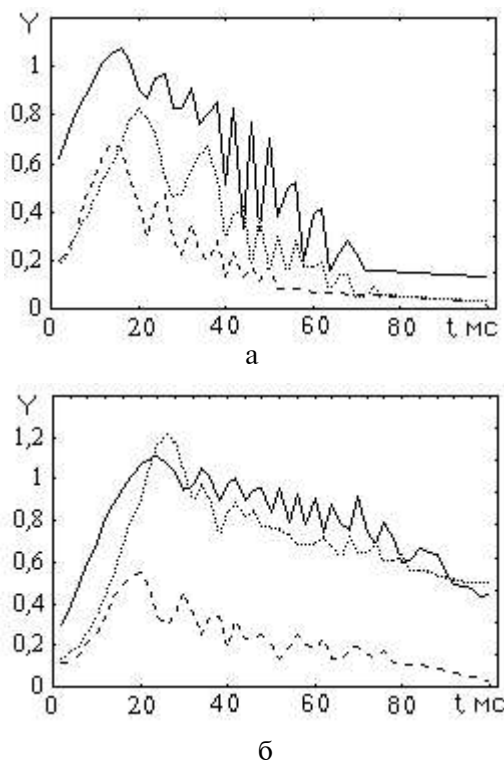


Рис. 2. Амплитудно-временные характеристики сигналов, зарегистрированных 19 января 1968 г., на метеорной РЛС: а — для метеора №20050; б — для метеора №20285

При решении данной задачи необходимо, чтобы набор признаков отражал наиболее существенные для распознавания свойства изображения АВХ сигнала (среднее расстояние между максимумами, связанное с величиной скорости метеороида; отклонение реальной картины дифракционных колебаний от картины в случае отсутствия дробления). Для этого были использованы метрические (геометрические) признаки изображения АВХ отраженного сигнала. Простейшим признаком формы является площадь изображения $S(E)$, где E — область рассматриваемого изображения. Этот признак удобен простотой подсчета и инвариантностью к смещениям и поворотам изображения. Однако его применение показало, что он не пригоден к решению данной задачи из-за малой чувствительности к изменению формы дифракционной картины. Другой метрический признак — длина контура изображения $L(E)$ — для решения данной задачи оказался неудобен, так как требует нормировки масштаба по оси ординат.

Оливера и Скарпетта [3] предложили использовать для сопоставления контуров изображений другой метрический признак — корреляцию некоторого набора угловых характеристик изображения. Поскольку другие инвариантные метрические признаки не дали удовлетворительных результатов, был использован этот метод, а в качестве метрического признака принят набор угловых характеристик контура АВХ (рис. 3). Такое решение оказалось наиболее удобным, так как набор угловых характеристик контура АВХ сильно чувствителен к изменениям дифракционной картины. Количество угловых характеристик N выбиралось от 4 до 10, потому что ниже уровня шумов экстремумы регистраций не различимы.

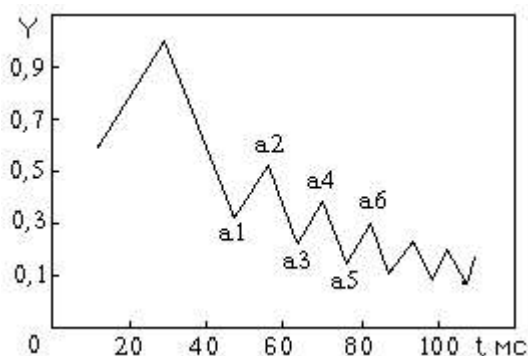


Рис. 3. Набор угловых характеристик АВХ отраженного сигнала, рассчитанного по классической модели

Для оценки степени совпадения двух изображений была использована мера сходства в виде коэффициента корреляции углов, образованных экстремумами дифракционных контуров двух изображений:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (b_i \cdot a_i) - \frac{\left(\sum_{i=1}^N b_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N a_i\right)}{N}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (b_i)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N b_i\right)^2}{N}\right] \cdot \left[\sum_{i=1}^N (a_i)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N a_i\right)^2}{N}\right]}}, \quad (1)$$

где a_i — i -й угол контура АВХ сигнала, полученного по модели;

b_i — i -й угол дифракционного контура АВХ регистрируемого отраженного сигнала.

Рассмотрим на примере отраженного сигнала № 20285, зарегистрированного на метеорной РЛС 19 января 1968 г., применение корреляции углов контура АВХ отраженного сигнала.

На рис. 4 показаны результаты классификации регистрируемого сигнала по критерию максимума коэффициента корреляции. Эти результаты получены с помощью программы, позволяющей посредством оптимизации, по критерию максимума коэффициента корреляции, подобрать параметры модели так, чтобы изображения АВХ отраженного сигнала и АВХ сигнала, построенного по одной из моделей дробления, были похожи. При этом можно полагать, что параметры модели и параметры метеорного следа

совпадают. В табл. 1 показан результат идентификации типа дробления метеороида для отраженного сигнала № 20285, зарегистрированного 19 января 1968 года.

Как видно из табл. 1, скорость метеороида по регистрации № 20285 в трех пунктах составляет 48–50 км/с. В последнем столбце приведены полученные максимальные значения коэффициента корреляции R .

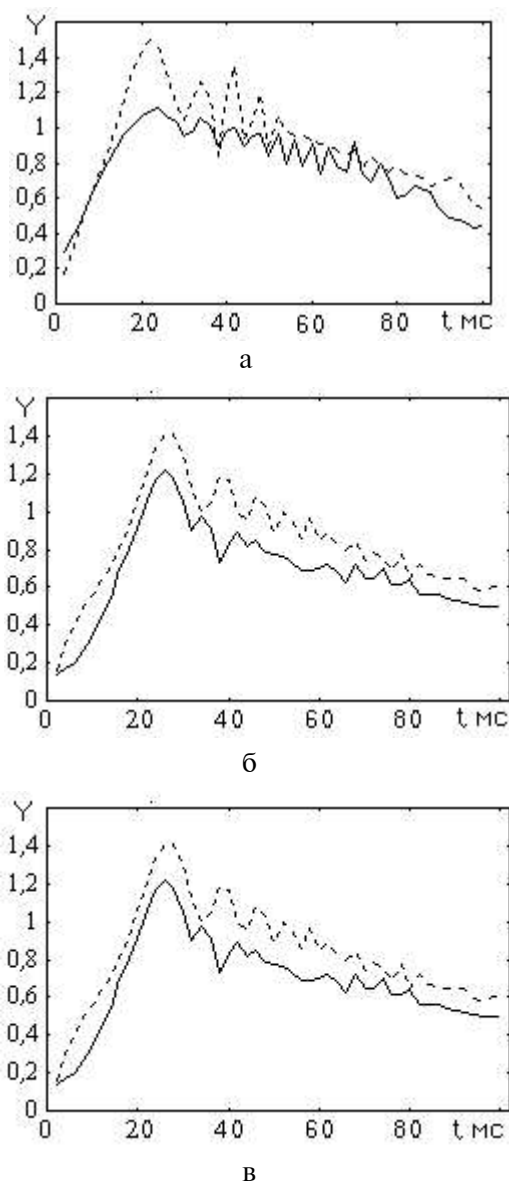


Рис. 4. Амплитудно-временные характеристики, полученные по моделям дробления для трех регистраций метеора № 20285: а — для регистрации метеора в основном пункте; б — для регистрации метеора в первом выносном пункте; в — для регистрации метеора во втором выносном пункте

Для наглядности метода в табл. 2 приведены промежуточные результаты работы программы: значения максимальных коэффициентов корреляции для случаев различных моделей дробления (0 — без дробления; 1 — с дроблением типа вспышка; 2 — с прогрессивным дроблением; 3 — с осколочным дроблением; 4 — с квазинепрерывным дроблением). Их сравнение свидетельствует о возможности применения выбранного метода для решения данной

задачи. Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что выбранный метрический признак сильно чувствителен к изменениям формы дифракционной картины, которые зависят от скорости метеороида и

$$\begin{aligned} \text{где } b_0 &= 0,874433, \\ b_1 &= 0,078358, \\ b_2 &= 0,000142, \\ b_3 &= 0,001941. \end{aligned}$$

Таблица 1

Тип модели дробления	V	X ₀	Δ	Y ₀	R
a— осколочное	50	1	0,1	1,00	0,57
b— осколочное	48	1,1	0,102	0,94	0,76
c — осколочное	50	0,7	0,133	0,95	0,80

момента возникновения дробления, а также от типа используемой модели дробления.

Здесь V — скорость метеороида; X₀ — нормированное положение точки зеркального отражения на следе; Δ — параметр затухания сигнала, связанный с процессом диффузии следа; Y₀ — нормированное расстояние

Таблица 2

Номер пункта	0	1	2	3	4
a — основной	0,53	0,40	0,50	0,57	0,35
b — выносной 1	0,72	0,67	0,53	0,80	0,41
c — выносной 2	0,68	0,60	0,71	0,76	0,56

от точки зеркального отражения до точки возникновения дробления.

Видно, что для регистрации метеора № 20285 в основном пункте значение коэффициента корреляции R в случае осколочного дробления близко к значению R при отсутствии дробления. Это связано с отсутствием учета в используемой модели ионизационной характеристики метеорного следа, что составляет дальнейшую перспективу развития предлагаемого метода.

Для проверки полученного метода был составлен план полнофакторного эксперимента. В табл. 3 приведены значения коэффициента корреляции углов между изображениями образцовой АВХ (с параметрами Δ=0,5, V=55 км/с) и АВХ сигнала с параметрами, соответствующими плану эксперимента (при разном отношении сигнал/шум).

По результатам реализации плана, представленного в табл. 3, было получено уравнение регрессии и осуществлена проверка эксперимента, которая дает ошибку определения коэффициента корреляции в пределах 5 %. При расчете коэффициентов уравнения используют результаты вычислительного эксперимента, при котором скорость метеороида определялась из выражения

$$V=35+20 \cdot x_1, \quad (2)$$

а обобщенный параметр — из выражения

$$D=0,25+0,25 \cdot x_2. \quad (3)$$

По результатам двухфакторного эксперимента было составлено уравнение регрессии, которое помимо линейных членов учитывает эффект парного межфакторного взаимодействия

$$R=b_0+b_1 \cdot x_1+b_2 \cdot x_2+b_3 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (4)$$

Выводы. Использование корреляции углов изображений при сравнении АВХ регистрируемого сигнала с АВХ сигнала, рассчитанного по одной из моделей дробления, обеспечивает определение типов геометрических отношений между ними. Это позволяет определять положение точки начала дробления тела и идентифицировать тип дробления метеороида, породившего след, от которого отразился сигнал, регистрируемый на метеорной РЛС.

Показано, что предлагаемый метод позволяет с помощью автоматического перебора параметров 4-х моделей дробления классифицировать регистрируемый отраженный сигнал по типу дробления.

Таблица 3

№	X1	X2	V	D	R	По уравнению для R
1	0,0	-1,0	35	0,00	0,76056	0,796074
2	-1,0	1,0	15	0,50	0,99357	0,950709
3	1,0	-1,0	55	0,00	0,75827	0,794276
4	0,0	0,0	35	0,25	0,86436	0,874433
5	1,0	0,0	55	0,25	0,86496	0,874575
6	0,0	1,0	35	0,50	0,99980	0,952792
7	-1,0	0,0	15	0,25	0,85907	0,874291
8	-1,0	-1,0	15	0,00	0,76931	0,797873
9	1,0	1,0	55	0,50	1,00000	0,954875

Далее в тексте статьи рассматриваются вопросы, связанные с применением метода, описанного в данной статье, для регистрации метеороидов.

Литература: 1. Кащеев Б.Л., Лебединец В.Н., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967. 260 с. 2. Новиков Г.Г. Метеорное явление с учетом эффектов дробления и сложного ионного состава. Душанбе: Изд. АН ТССР. 1989. 351 с. 3. Минсу Сук, Хванил Канг. Новые меры сходства между двумя контурами, основанные на оптимальных двумерных преобразованиях // Computer vision graphics and image processing. 1984. Т. 168, N. 26. С. 182-188.

Поступила в редколлегию 12.03.98

Гриншпун Ростислав Зигмундович, аспирант ХТУРЭ. Научные интересы: методы обработки сигналов. Увлечения: философия. Адрес: 310202, Украина, Харьков, ул. Целиноградская, 58, к. 818, тел. 40-94-79, 36-13-37.