

УДК 681.5

# ЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНТРЕФЛЕКТОРА

**В. Г. Курбанов,**

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

**А. Е. Городецкий,**

доктор техн. наук, профессор

Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург

Предложен способ, который позволяет сводить исходные системы в форме системы логических уравнений к линейным системам алгебраических уравнений в форме, известной как линейные последовательностные машины. Это дает возможность привести поиск оптимального управления контррефлектора к задаче математического программирования.

**Ключевые слова** — контррефлектор, логический анализ, электропривод, линейные последовательностные машины.

## Введение

Космический телескоп обсерватории «Миллиметрон» диаметром 12 м предназначен для исследования различных объектов Вселенной в миллиметровом и инфракрасном диапазонах (от 20 мкм до 20 мм) как с ультравысокой чувствительностью (режим одиночного телескопа), так и со сверхвысоким угловым разрешением (в режиме интерферометра — до десятков миллиардных долей угловой секунды).

Высокая чувствительность достигается за счет теплового экранирования антенны и глубокого охлаждения телескопа и приемной аппаратуры с помощью криогенной установки. Высокое угловое разрешение может обеспечиваться за счет использования адаптивного управления элементами зеркальной системы и, в частности, положением контррефлектора (КР). В последнем случае предполагается, что КР радиотелескопа имеет шесть степеней свободы и систему электроприводов, работающих при температуре 4 К, для обеспечения согласования его линейного и углового положения с положением основного зеркала.

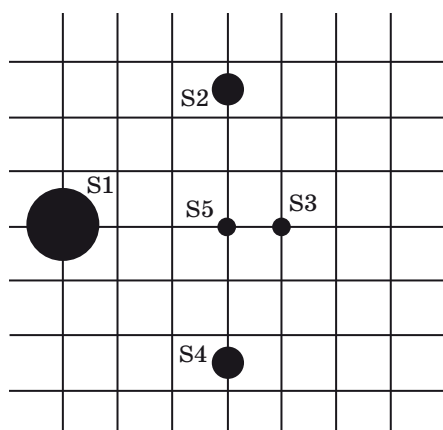
Создание системы автоматического управления положением КР (САУ-КР) охлаждаемого космического радиотелескопа представляет собой сложную проблему, связанную, прежде всего, с необходимостью решать задачи высокоточного управления и измерения в условиях сверхнизких

температур и вакуума, для чего сначала необходимо разработать простой и надежный алгоритм управления электроприводами КР.

## Схема измерения положения контррефлектора

Одной из наиболее очевидных схем измерения положения КР может быть следующая. На отражающей поверхности КР устанавливают пять полупроводниковых светодиодов  $s_1-s_5$ , из которых четыре ( $s_1-s_4$ ) располагают симметрично (по осям  $X$  и  $Y$ ) по краям отражающей поверхности КР и один, контрольный ( $s_5$ ) — в основании отражающей поверхности КР. По ходу лучей перед фокусом располагают поворотное зеркало, поворачивающее в процессе измерения лучи от лазеров на угол  $90^\circ$  относительно фокальной плоскости. В процессе приема сигналов от источников радиоизлучения поворотное зеркало размещают перпендикулярно фокальной плоскости. Далее за поворотным зеркалом по ходу лучей устанавливают автоколлиматор (АК). В этом случае при правильном расположении КР на ПЗС-матрице получается симметричная картинка из пяти одинаковых по площади пятен (идеальная или исходная). При разных смещениях КР (изменении угла наклона КР, перемещении в плоскости  $XY$ ) расположение и площади пятен изменяются (рис. 1).

Поэтому для решения задачи коррекции положения КР будем отслеживать изменения положе-

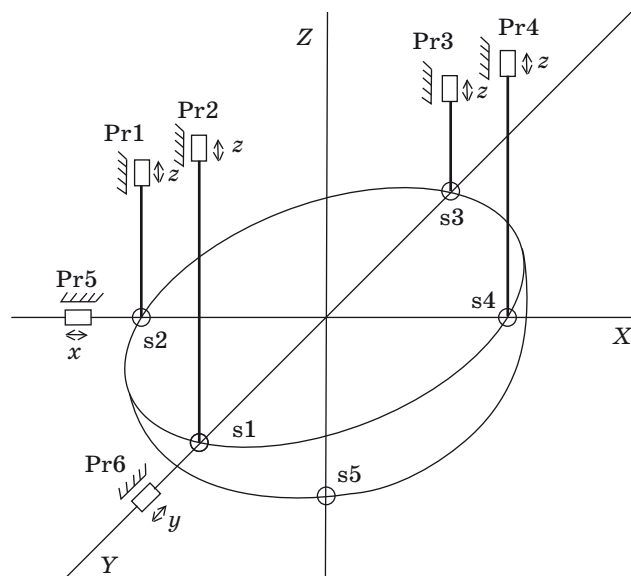


■ Рис. 1. Расположение и площади пятен

ния и размеров пятен засветки на ПЗС-матрице. Можно составить таблицу, где будут учитываться перемещения в плоскости  $XU$  (плоскость матрицы) и площадь пятен. Составим эту таблицу для единичных перемещений КР с пятью степенями свободы для пятен  $S1-S5$  (табл. 1).

Логический анализ изображения на ПЗС-матрице позволит выработать управляющие воздействия на линейные электроприводы  $Pr1-Pr6$  (рис. 2), обеспечивающие перемещение КР в требуемое положение.

Расположение приводов  $Pr1-Pr6$ , обеспечивающих 6 степеней свободы КР радиотелескопа, а также расположение поворочных источников  $s1-s5$  показано на рис. 2. Примем также допуще-



■ Рис. 2. Схема расположения приводов и источников излучения

ние, что источники точечные, размер матрицы меньше отражающей поверхности КР и расстояния от нее до источников  $s1, s2, s3, s4$  равны.

**Алгоритм управления положением контррефлектора**

Поскольку управляющие сигналы должны быть закодированы бинарно, расширим таблицу так, чтобы для каждого возможного изменения

■ Таблица 1

Возможные отклонения пятен															Управляющие воздействия на привод						Состояние КР
S1			S2			S3			S4			S5			Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	
x	y	D	x	y	D	x	y	D	x	y	D	x	y	D							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Исходное
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	Сдвиг по X+
-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	Сдвиг по X-
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	Сдвиг по Y+
0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1	Сдвиг по Y-
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-	-	-	-	0	0	Сдвиг по Z+
0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	1	1	1	1	0	0	Сдвиг по Z-
0	-	1	0	-	1	0	-	-	0	-	1	0	-	1	0	-	1	0	0	0	Вращение вдоль X ПЧС
0	1	-	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	-	0	0	0	Вращение вдоль X ПрЧС
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	-	1	0	1	-	0	0	1	0	0	Вращение вдоль Y ПЧС
-	0	1	-	0	-	-	0	1	-	0	1	-	0	1	1	0	0	-	0	0	Вращение вдоль Y ПрЧС

Примечание. 1 — смещение КР в сторону положительной оси, движение привода на себя; - смещение КР в отрицательную сторону оси, движение привода от себя; D — площадь пятна; ПЧС — поворот по часовой стрелке; ПрЧС — поворот против часовой стрелки.

состояния переменных ( $x, y, D$ ) каждого пятна была одна бинарная переменная  $x_i$ . По три состояния каждого привода также должны быть закодированы тремя бинарными переменными  $y_i$ . Переходим к новым переменным (табл. 2).

Составим правила-продукты (табл. 3).

Вместо  $A$  выступают логические переменные  $x_1...x_{48}$  (между переменными — знак логическое «И»), описывающие возможные отклонения пятен на ПЗС-матрице, которая соответствует положению КР (изменение угла наклона КР, перемещение в плоскости  $XU$ ). Вместо  $B$  выступают логические переменные  $y_1...y_{18}$  (между переменными — знак логическое «И»), описывающие управляющие воздействия на приводы  $Pr_1...Pr_6$ , действия которых вызывают сдвиг КР, в результате чего КР возвращается в исходное состояние.

Используя эквивалентность импликации  $A \rightarrow B$  формуле  $\neg A \vee B$  в булевой алгебре, из этих правил получаем систему логических уравнений.

Используя метод из работы [1], систему логических уравнений сведем к системе

$$AS = b, \quad (*)$$

где  $A$  — прямоугольная двоичная матрица размерности  $[n \times m]$ ,  $n > m$ ;  $S$  — фундаментальный вектор (вектор-строка) логической системы размерности  $n$ ;  $b$  — двоичный вектор (вектор размерности  $n$ ).

Метод [1] позволяет сводить исходные системы в форме конечных автоматов к линейным системам алгебраических уравнений в форме, известной как линейные последовательностные машины [2]. Это позволяет перейти от имитационных методов исследования к аналитическим методам линейной алгебры по модулю 2. В этом случае эксперименты над моделями не проводятся. Численные оценки определяются бесспорными способами, а результаты представляются в аналитической форме. Представление моделей в форме линейных последовательностных машин имеет принципиальное значение, так как позволяет задачи, для которых неизвестно решение за полиномиальное время, привести к задачам, для которых известны эффективные алгоритмы решения. Линеаризация систем уравнений логического типа, содержащих конъюнкции из компонент вектора состояний, позволяет за счет его расширения упорядочить причинно-следственные связи в комбинаторных задачах математического программирования и сравнительно просто определить их сложность, а также оценить логическую замкнутость и непротиворечивость исходной нелинейной системы логических уравнений.

■ Таблица 2

Объект — переменная — состояние	Новая переменная
$S1(S2, S3, S4, S5) - x - 0$	$x1(x10, x19, x28, x37)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - x -$	$x2(x11, x20, x29, x38)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - x - 1$	$x3(x12, x21, x30, x39)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y - 0$	$x4(x13, x22, x31, x40)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y -$	$x5(x14, x23, x32, x41)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y - 1$	$x6(x15, x24, x33, x42)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - D - 0$	$x7(x16, x25, x34, x43)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - D -$	$x8(x17, x26, x35, x44)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - - 1$	$x9(x18, x27, x36, x45)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) - 0$	$y1(y4, y7, y10, y13, y16)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) -$	$y2(y5, y8, y11, y14, y17)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) - 1$	$y3(y6, y9, y12, y15, y18)$

■ Таблица 3

Правила-продукты вида «Если $A$ , то $B$ »	Действия $Pr_1...Pr_6$
Если $x1x4x7x10x13x16x19x22x25x28x31x34x37x40x43$ , то $y1y4y7y10y13y16$	Исходное (нет сдвигов КР)
Если $x3x4x7x12x13x16x21x22x25x30x31x34x39x40x43$ , то $y1y4y7y10y15y16$	Сдвиг по $X$ в положительную сторону
Если $x2x4x7x11x13x16x20x22x25x29x31x34x38x40x43$ , то $y1y4y7y10y14y16$	Сдвиг по $X$ в отрицательную сторону
Если $x1x6x7x10x15x16x19x24x25x28x33x34x37x42x43$ , то $y1y4y7y10y13y17$	Сдвиг по $Y$ в положительную сторону
Если $x1x5x7x10x14x16x19x23x25x28x32x34x37x41x43$ , то $y1y4y7y10y13y18$	Сдвиг по $Y$ в отрицательную сторону
Если $x1x4x9x10x13x18x19x22x27x28x31x36x37x40x45$ , то $y2y5y8y11y13y16$	Сдвиг по $Z$ в положительную сторону
Если $x1x4x8x10x13x17x19x22x26x28x31x35x37x40x44$ , то $y3y6y9y12y13y16$	Сдвиг по $Z$ в отрицательную сторону
Если $x1x5x9x10x14x18x19x23x26x28x32x36x37x41x45$ , то $y1y5y9y10y13y16$	Вращение вдоль $X$ ПЧС
Если $x1x6x8x10x15x18x19x24x27x28x33x36x37x42x45$ , то $y1y6y8y10y13y16$	Вращение вдоль $X$ ПрЧС
Если $x3x4x9x12x13x18x21x22x27x30x31x35x39x40x45$ , то $y2y4y7y12y13y16$	Вращение вдоль $Y$ ПЧС
Если $x2x4x9x11x13x17x20x22x27x29x31x36x38x40x45$ , то $y3y4y7y11y13y16$	Вращение вдоль $Y$ ПрЧС

Можно поставить оптимизационную задачу следующим образом: минимизировать время, затраченное на приведение КР на исходное состояние при ограничениях на мощность электроприборов и связь в виде (\*). В результате получается задача математического программирования, аналогичная задаче линейного программирования, но в алгебре по модулю 2 [3].

### Заключение

Логический анализ изображений реперных источников излучения, располагаемых на КР, на ПЗС-матрице, помещаемой в точку приема радиоизлучения, позволяет формировать сигналы управления положением КР.

Сведение исходных систем логических уравнений к форме линейных последовательностных машин позволяет свести поиск оптимального управления КР к задаче математического про-

граммирования, аналогичной задаче линейного программирования, но в алгебре по модулю 2.

### Литература

1. Дубаренко В. В., Курбанов В. Г. Метод приведения систем логических уравнений к форме линейных последовательностных машин // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 4. С. 37–41.
2. Гилл А. Линейные последовательностные машины. — М.: Наука, 1974. — 288 с.
3. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л. Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 336 с.

### Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2009 гг. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>) и на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2009 гг. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 3600 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4200 рублей, включая НДС 18 % и почтовые расходы.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья) вы можете подписаться на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>).

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: [press@crp.spb.ru](mailto:press@crp.spb.ru), [zajavka@crp.spb.ru](mailto:zajavka@crp.spb.ru),

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, эл. почта: [export@periodicals.ru](mailto:export@periodicals.ru), сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: [Alfimov@viniti.ru](mailto:Alfimov@viniti.ru), сайт: <http://www.informnauka.com>

«Гал»

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

«ИНТЕР-ПОЧТА-2003»

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80, эл. почта: [interpochta@interpochta.ru](mailto:interpochta@interpochta.ru), сайт: <http://www.interpochta.ru>

Краснодар, тел.: (861) 210-90-00, 210-90-01, 210-90-55, 210-90-56, эл. почта: [krasnodar@interpochta.ru](mailto:krasnodar@interpochta.ru)

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: [podpiska@delpress.ru](mailto:podpiska@delpress.ru), сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: [kazan@komcur.ru](mailto:kazan@komcur.ru), сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«ВТЛ» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.