

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.

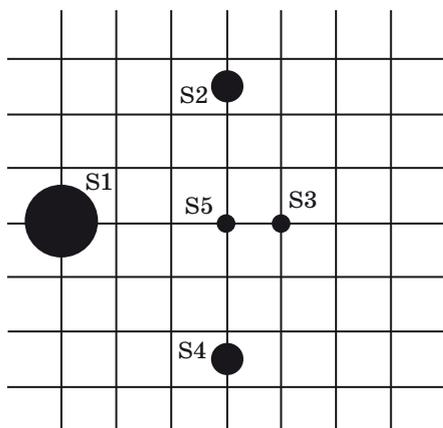
Создание системы автоматического управления положением КР (САУ-КР) охлаждаемого космического радиотелескопа представляет собой сложную проблему, связанную, прежде всего, с необходимостью решать задачи высокоточного управления и измерения в условиях сверхнизких

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° 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-

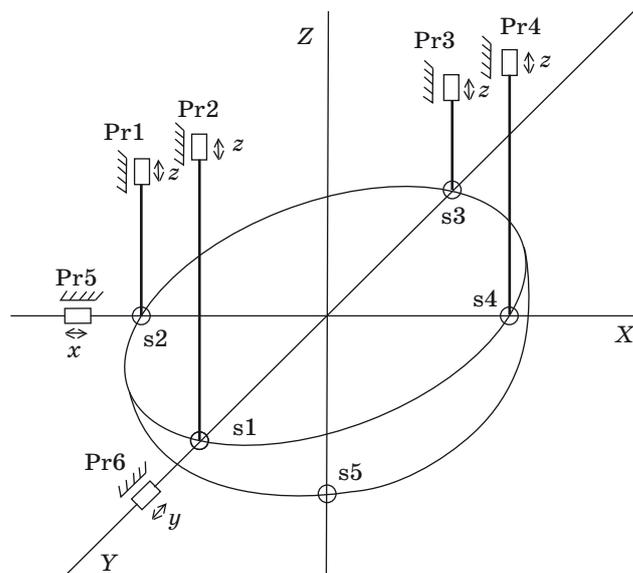


■ Рис. 1. Расположение и площади пятен

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 поверочных 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 беспоисковыми 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
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - x - 0$	$x_1(x_{10}, x_{19}, x_{28}, x_{37})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - x -$	$x_2(x_{11}, x_{20}, x_{29}, x_{38})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - x - 1$	$x_3(x_{12}, x_{21}, x_{30}, x_{39})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - y - 0$	$x_4(x_{13}, x_{22}, x_{31}, x_{40})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - y -$	$x_5(x_{14}, x_{23}, x_{32}, x_{41})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - y - 1$	$x_6(x_{15}, x_{24}, x_{33}, x_{42})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - D - 0$	$x_7(x_{16}, x_{25}, x_{34}, x_{43})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - D -$	$x_8(x_{17}, x_{26}, x_{35}, x_{44})$
$S_1(S_2, S_3, S_4, S_5) - 1$	$x_9(x_{18}, x_{27}, x_{36}, x_{45})$
$Pr_1(Pr_2, Pr_3, Pr_4, Pr_5, Pr_6) - 0$	$y_1(y_4, y_7, y_{10}, y_{13}, y_{16})$
$Pr_1(Pr_2, Pr_3, Pr_4, Pr_5, Pr_6) -$	$y_2(y_5, y_8, y_{11}, y_{14}, y_{17})$
$Pr_1(Pr_2, Pr_3, Pr_4, Pr_5, Pr_6) - 1$	$y_3(y_6, y_9, y_{12}, y_{15}, y_{18})$

Таблица 3

Правила-продукты вида «Если A , то B »	Действия $Pr_1...Pr_6$
Если $x_1x_4x_7x_{10}x_{13}x_{16}x_{19}x_{22}x_{25}x_{28}x_{31}x_{34}x_{37}x_{40}x_{43}$, то $y_1y_4y_7y_{10}y_{13}y_{16}$	Исходное (нет сдвигов КР)
Если $x_3x_4x_7x_{12}x_{13}x_{16}x_{21}x_{22}x_{25}x_{30}x_{31}x_{34}x_{39}x_{40}x_{43}$, то $y_1y_4y_7y_{10}y_{15}y_{16}$	Сдвиг по X в положительную сторону
Если $x_2x_4x_7x_{11}x_{13}x_{16}x_{20}x_{22}x_{25}x_{29}x_{31}x_{34}x_{38}x_{40}x_{43}$, то $y_1y_4y_7y_{10}y_{14}y_{16}$	Сдвиг по X в отрицательную сторону
Если $x_1x_6x_7x_{10}x_{15}x_{16}x_{19}x_{24}x_{25}x_{28}x_{33}x_{34}x_{37}x_{42}x_{43}$, то $y_1y_4y_7y_{10}y_{13}y_{17}$	Сдвиг по Y в положительную сторону
Если $x_1x_5x_7x_{10}x_{14}x_{16}x_{19}x_{23}x_{25}x_{28}x_{32}x_{34}x_{37}x_{41}x_{43}$, то $y_1y_4y_7y_{10}y_{13}y_{18}$	Сдвиг по Y в отрицательную сторону
Если $x_1x_4x_9x_{10}x_{13}x_{18}x_{19}x_{22}x_{27}x_{28}x_{31}x_{36}x_{37}x_{40}x_{45}$, то $y_2y_5y_8y_{11}y_{13}y_{16}$	Сдвиг по Z в положительную сторону
Если $x_1x_4x_8x_{10}x_{13}x_{17}x_{19}x_{22}x_{26}x_{28}x_{31}x_{35}x_{37}x_{40}x_{44}$, то $y_3y_6y_9y_{12}y_{13}y_{16}$	Сдвиг по Z в отрицательную сторону
Если $x_1x_5x_9x_{10}x_{14}x_{18}x_{19}x_{23}x_{26}x_{28}x_{32}x_{36}x_{37}x_{41}x_{45}$, то $y_1y_5y_9y_{10}y_{13}y_{16}$	Вращение вдоль X ПЧС
Если $x_1x_6x_8x_{10}x_{15}x_{18}x_{19}x_{24}x_{27}x_{28}x_{33}x_{36}x_{37}x_{42}x_{45}$, то $y_1y_6y_8y_{10}y_{13}y_{16}$	Вращение вдоль X ПрЧС
Если $x_3x_4x_9x_{12}x_{13}x_{18}x_{21}x_{22}x_{27}x_{30}x_{31}x_{35}x_{39}x_{40}x_{45}$, то $y_2y_4y_7y_{12}y_{13}y_{16}$	Вращение вдоль Y ПЧС
Если $x_2x_4x_9x_{11}x_{13}x_{17}x_{20}x_{22}x_{27}x_{29}x_{31}x_{36}x_{38}x_{40}x_{45}$, то $y_3y_4y_7y_{11}y_{13}y_{16}$	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, 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, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: 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, 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

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: 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, 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.