

Способы и методы кодирования информации о внешней среде для мобильных роботов¹

Алексеев А.Ю.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа

В статье рассматривается методика организации канала беспроводной передачи данных по оптическому каналу, с использованием системы технического зрения и маркеров расширенной виртуальной реальности. Описываются способы и методы кодирования информации с помощью двумерного кода: динамический и цветной варианты кода. Представлен экспериментальный робототехнический комплекс, на базе которого проводятся тестирование и отладка методов кодирования–декодирования информации в двумерных кодах.

1. Введение

Мобильные роботы в силу своей специфики предназначены для функционирования в недетерминированной внешней среде. При построении централизованной системы управления коллективом мобильных роботов выбор алгоритмов, целей зависит от способов обмена данными между роботами и центральным компьютером.

Беспроводные каналы связи (*Bluetooth*, *ZigBee*) способны передавать данные на скорости до 2 Мбит/с, и этого вполне достаточно для двусторонней передачи данных между роботом и центральной системой управления. Однако, когда требуется управление группой мобильных роботов, осуществить одновременный прием и обработку радиосигналов в режиме реального времени будет невозможно. Придется либо уменьшить количество роботов в коллективе, либо искать другие способы беспроводной связи, способные увеличить скорость передачи данных. Также основным недостатком данных способов организации канала обратной связи при управлении коллективом мобильных роботов является невозможность отследить ориентацию и местоположение робота в пространстве.

2. Маркеры расширенной виртуальной реальности

Достаточно часто для определения координат и ориентации роботов, мониторинга окружающего пространства используются системы технического зрения (СТЗ), что дает, с одной стороны, обеспече-

ние «визуального» контакта оператора с объектом управления, а, с другой стороны, появляется также возможность организовать дублирующий канал обмена данными. Использование в качестве системы кодирования маркеров расширенной виртуальной реальности существенно снижает требования к пропускной способности канала, т.к. в этом случае основная вычислительная нагрузка ложится на верхний уровень системы управления.

Маркер расширенной виртуальной реальности представляет собой двумерный код, наподобие известных *QR*-кодов, *DataMatrix* и других. Основное достоинство двумерных кодов — это легкое распознавание сканирующим оборудованием (в том числе даже *web*-камерой), что дает возможность использования такого подхода в различных сферах деятельности: от бытового применения (с низкой разрешающей способностью) до контроля технологических операций [1].

Наиболее предпочтительным для прототипа разрабатываемой системы оптической передачи данных является использование технологии *DataMatrix* [2] для кодирования оперативной информации робота, так как она является наиболее компактной по геометрическим размерам, что очень важно при ограничениях на размеры мобильных роботов. Минимальный размер такого кода 10 на 10 точек, в то время как у наиболее популярной технологии *QR*-кодов при таком же уровне коррекции ошибок — 21 на 21.

3. Алгоритм Рида–Соломона

На устойчивость каналов обмена данными к внешним помехам в значительной мере влияют

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 1 Отделения ЭМПУ РАН «Научные основы робототехники и мехатроники»

структура сети и помехозащищенность кода при передаче данных. Поэтому, предлагается использовать оптический канал связи с использованием двумерных кодов, основанных на методике кодирования Рида–Соломона с коррекцией ошибок возможных при передаче данных.

Код Рида–Соломона [3] — эффективный и удобный в реализации (k, N) -блочный код, позволяющий обнаруживать и исправлять ошибки в кодируемых байтах. Входным словом для него является блок из k байт, выходным — кодовое слово из N байт, состоящее из k исходных и $N - k$ проверочных байт. Алгоритм гарантирует, что при декодировании в кодовом слове будут обнаружены и исправлены $t = (N - k)/2$ байт, независимо от их расположения внутри кодового слова. Параметр t носит название корректирующей способности кода.

Существует две разновидности кодирования: систематический и несистематический коды. В несистематическом коде закодированное сообщение не содержит в явном виде исходного сообщения: закодированное сообщение $C(x)$ получается как произведение исходного сообщения $p(x)$ на порождающий многочлен $g(x)$:

$$C(x) = p(x) \cdot g(x).$$

Порождающий многочлен Рида–Соломона строится следующим образом:

$$g(x) = \prod_{(i=1 \dots D-1)} (x+a^i) = (x+a^1)(x+a^2) \dots (x+a^{D-1}),$$

где a — примитивный элемент поля Галуа; D — «расстояние Хэмминга», $D = N - K + 1$.

Систематический код строится немного иначе. Сначала полином сдвигается на K коэффициентов влево, а потом вычисляется его остаток от деления на порождающий полином и прибавляется к $p'(x)$:

$$p'(x) = p(x) \cdot x^{(N-K)},$$

$$C(x) = p'(x) + p'(x) \bmod g(x).$$

Таким образом, в систематическом коде K –старших коэффициентов полученного кода $C(x)$ содержат исходное сообщение, а остальные — избыточное, что облегчает обработку данных во время декодирования.

Закодированное сообщение $C(x)$ обладает очень важным свойством: оно без остатка делится на порождающий многочлен $g(x)$. В случае появления остатка от деления можно считать, что закодированное сообщение было искажено.

Процесс кодирования сводится к операциям сложения и умножения по модулю 256, что существенно снижает требования к бортовым вычислительным системам мобильного робота [4].

Каждый код имеет измерительные линейки, которые выглядят как сплошная линия по одному краю символа, и равномерно расположенные квадратные точки одинакового размера по другому краю. Эти линейки используются для определения ориентации и плотности кода и поэтому позволяют считывать код при любом положении робота в пространстве.

4. Технология матричного фотосканирования

В настоящее время существует множество программ распознавания двумерных кодов как промышленного, так и бытового назначений. Большинство программ предназначено для распознавания одиночных статичных кодов, в том числе и программы, использующие камеры мобильных телефонов. При решении задачи управления коллективом роботов требуется другое алгоритмическое решение, так как необходимо одновременное распознавание двумерных кодов со всех роботов, находящихся в рабочей зоне, в режиме реального времени. Для этого необходимо реализовать разбиение изображения получаемого с камеры СТЗ на сектора с последующим распознаванием двумерных кодов в каждом секторе в соответствии с выбранной стратегией обхода. Подобный подход к решению поставленной задачи не в полной мере подходит для коллектива мобильных роботов, так как при передвижении коллектива роботов достаточно сложной и неоднозначной становится задача динамического разбиения изображения на сектора произвольного размера, чтобы гарантированно обеспечить выделение всех видимых двумерных кодов с последующим их считыванием и декодированием. Интересным решением в этой связи представляется реализация технологии матричного фотосканирования (*Area Image*). Матричный фотосканер представляет собой быстродействующий фотоаппарат, производящий большое количество снимков в секунду и обладающий способностью распознавания нескольких кодов одновременно. Все операции производятся со сканированным изображением, что позволяет распознавать как линейные штрих коды, так и двумерные. К преимуществам данной технологии также относится отсутствие жестких требований к точному наведению оптической системы и ориентации кода относительно сканера, что немаловажно при реализации системы управления коллективом мобильных роботов.

5. Динамический двумерный код

Для обеспечения покрытия всей рабочей зоны действия коллектива мобильных роботов потребу-

ется скоростная камера с высокой разрешающей способностью. Если на каждом роботе коллектива будет установлен квадратный дисплей для отображения двумерного кода со стороной l миллиметров и разрешением x точек, тогда минимальный размер точки двумерного кода d будет равен отношению l на x . Следовательно, чем больше величина d , тем меньше требования к разрешающей способности камеры, но при этом объем кодируемой информации тоже уменьшается. При достаточно больших объемах передаваемой информации решение проблемы гарантированного распознавания видится в использовании динамического двумерного кода: передаются не один, а несколько двумерных кодов, последовательно кадр за кадром (рис. 1). При таком подходе, соответственно, увеличивается время передачи информации, но при этом уменьшается размер кадра, растет геометрический размер отдельного элемента двумерного кода, что приводит к снижению аппаратно-временных затрат и увеличению скорости распознавания. Использование динамического двумерного кода требует разработки специальной организации передачи данных, где каждый кадр пакета данных должен содержать часть информации о предыдущем кадре для сохранения целостности пакета при передаче.

6. Цветной двумерный код

При построении маркерных модулей на борту мобильных мини-роботов компактность кода является одним из значимых параметров, поэтому использование технологии *DataMatrix* наиболее предпочтительно. С целью увеличения объема передаваемой информации предлагается сделать код двухслойным. В качестве первого слоя будет выступать сам код *DataMatrix*, а второй слой будет представлять собой цветной код, наложенный на черные точки основного кода (рис. 2).

При этом первый слой кода (черные метки) предлагается сгруппировать в сектора размером 4 на 4 точки, чтобы гарантированно получить хотя бы одну черную точку для кодирования ее во втором слое. Таким образом, мы можем закодировать основную информацию при помощи *DataMatrix*, не выделяя дополнительного пространства для служебной (контрольной) информации, которая помещается на второй слой.

7. Экспериментальный комплекс

Для тестирования и отладки различных способов кодирования двумерных кодов, а также организации коллективного взаимодействия роботов между собой был разработан специальный робототехнический комплекс. Конструкция мобильных

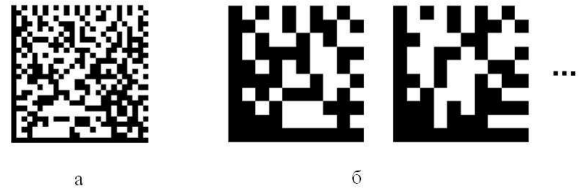


Рис. 1. Пример статического и динамического кодов: а) *DM*-код (классика); б) *DM*-код (поделен на кадры)

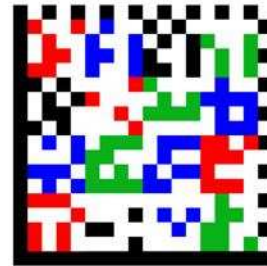


Рис. 2. Цветной двумерный код на основе *DataMatrix*

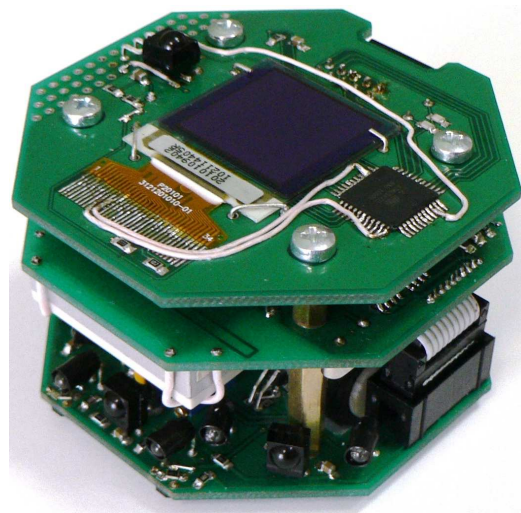


Рис. 3. Мобильная платформа

роботов экспериментального комплекса была спроектирована по модульному принципу (рис. 3), что позволяет расширить круг задач, которые можно решать на данном комплексе. Каждый модуль фиксируется четырьмя металлическими стойками, которые обеспечивают жесткость конструкции и надежно фиксируют модули друг над другом. Электрическое соединение между модулями реализуется шлейфами с электрическими разъемами, а универсальный протокол обмена между модулями позволяет подключать их в различной последовательности.

Такой подход позволяет изменять характеристики робота в широких диапазонах, что делает их удобными и практичными для использования в научно-исследовательских целях.

Для индикации цветных двумерных кодов используются полноцветные *OLED*-дисплеи (*Organic Light Emitting Device*) – индикаторы на основе органических светоизлучающих кристаллов. *OLED*-дисплеи, по сравнению с ЖК-дисплеями, обладают низким уровнем энергопотребления, высокой яркостью и контрастностью изображения, не требуют дополнительной подсветки и имеют широкий угол обзора (до 160–180 градусов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости) без заметных искажений цветопередачи. Все это облегчает обнаружение цветного маркера системой технического зрения даже в зашумленной окружающей обстановке.

8. Заключение

Предлагаемые способ организации канала обратной связи и архитектура системы управления позволяют увеличить скорость генерации управляющих воздействий, ускорить прием и обработку информации за счет одновременной передачи данных о состоянии коллектива по оптическому каналу; принимать решения в режиме реального времени и своевременно реагировать на изменения ситуации.

Список литературы

- [1] Даринцев О.В., Алексеев А.Ю. Использование технологий виртуализации при построении полунатурного робототехнического комплекса // Мавлютовские чтения: Росс. науч.-техн. конф.: сб. трудов в 5 т. Том 5. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 81–85.
- [2] AIM International Technical Specification – International Symbology Specification – Data Matrix / Note: Approved 1997-05-08.
- [3] Крис Касперски. Могущество кодов Рида–Соломона или информация, воскресшая из пепла. URL: http://www.insidepro.com/kk/027/027r.shtml#_ftn3.
- [4] Алексеев А.Ю. Особенности кодирования информации модуля оптической передачи данных мобильного робота // Мавлютовские чтения: сб. тр. в 5 т. Том 3. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 150–151.