

НЕЯВНАЯ КОММУНИКАЦИЯ В ГРУППЕ РОБОТОВ

В.В. Воробьев

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт»
Россия, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1
E-mail: Vorobev_VV@nrcki.ru, gatus86@mail.ru

Ключевые слова: рекогносцировка местности, локальное взаимодействие роботов, инфракрасная связь, группировка роботов.

Аннотация: В работе представлена реализация механизма неявной коммуникации для обмена данными между роботами, которые решают задачу групповой рекогносцировки местности. Эта задача заключается в поиске группой роботов множества объектов интереса, расположенных произвольным образом на некоторой местности. Разведываемая область поделена на множество секторов, каждый из которых считается исследованным, если его центр посетил хотя бы один из роботов. В процессе выполнения этой задачи каждый робот постоянно отправляет специальный сигнал по системе локальной инфракрасной связи. Неявная коммуникация проявляется в момент, когда он принимает такой сигнал от другого робота; в таком случае не посещенные им сектора со стороны принимаемого сигнала отмечаются им как уже исследованные. Это позволяет рассредоточить группировку по всей местности, снизить число посещений одного и того же сектора несколькими роботами и уменьшить общее время исследования местности. При этом непосредственно данные по инфракрасному каналу не передаются, что позволяет его использовать для передачи информации, необходимой для решения других задач.

1. Введение

В групповой робототехнике есть задачи, где группа роботов не может централизованно управляться из единого центра, например, вследствие высокой удаленности этого центра от группы, сознательного противодействия, агрессивной среды и др. Для решения таких задач используются субоптимальные модели, в т.ч. и биоинспирированные, одними из которых являются модели социального поведения (МСП)[1]. Основная идея такого подхода – создать социум искусственных агентов, как механизм адаптации группы к внешней среде. Способ построения социума – это комбинирование различных базовых механизмов МСП для формирования сложного поведения [2]. Этот набор создается посредством формализации внутреннего устройства тех или иных наблюдаемых в реальном социуме феноменов.

Важной особенностью этих моделей является принципиально локальный характер взаимодействия между роботами в группе, в частности, с ограниченным числом своих ближайших соседей. В перспективе это дает возможность отойти от концепции централизованного управления, делегируя функции принятия решений, построения общих планов, распределения функций в группе и др. отдельным агентам, которые будут решать эти задачи, взаимодействуя друг с другом.

Однако такие каналы локальной связи имеют, как правило, низкую пропускную способность. Применительно к технике это ограничение имеет место быть при решении различных задач в агрессивных средах, где крайне затруднено, а иногда и совсем невозможно воспользоваться стандартными средствами беспроводной связи: wi-

fi, Bluetooth, спутниковая связи и др. В таких случаях приходится использовать другие способы передачи данных: в видимом спектре [3], ИК-передатчики [4], звуком, посредством физического контакта [5, 6], когда роботы соединяются друг с другом. Более того, базовые механизмы МСП опираются именно на такой принцип взаимодействия особей в социуме, что означает, что социум роботов может и должен формироваться в т.ч. и в таких ограничениях.

Если рассматривать конкретные технические решения, то можно сделать вывод, что пропускная способность таких каналов связи порядка 100-1000 б/с. При решении конкретных технических задач внутри социума роботов будет проходить информационный обмен различной интенсивности. Следовательно, механизмы, обеспечивающие этот обмен должны учитывать и локальный характер обмена, и низкую пропускную способность канала, а интенсивность использования таких каналов необходимо сократить, чтобы избежать их перегрузки.

Вместе с тем, при решении некоторых задач в таких ограничениях можно использовать неявную коммуникацию между агентами. Суть такого подхода заключается в том, что непосредственно обмена данными между роботами не происходит. Весь процесс сводится к опосредованной передаче информации между роботами, например, через среду или с помощью фиксации определенных событий сенсорной системой робота.

В работе предлагается использовать непосредственно факт приема роботом сигнала по локальной связи при решении задачи разведки местности группой роботов. Данные, переданные с помощью этого сигнала, при этом не учитываются – они могут быть использованы при решении других задач.

2. Постановка задачи

Есть местность:

$$M = (\{S\}, \{R\})$$

где S – множество секторов, на которые поделена эта местность, а R – множество роботов, которые должны исследовать эту местность. При этом каждый сектор $s_i \in S$ описывается как:

$$s_i = (id, x, y, \{O\})$$

где id – уникальный идентификатор сектора, x, y – координаты центра сектора, O – множество объектов интереса, которые фиксируют роботы в процессе исследования местности. Любой объект из множества $o_i \in O$ описывается четверкой:

$$o_i = (id, type, x, y, a)$$

где id – уникальный идентификатор объекта, $type$ – тип объекта, x, y – координаты объекта, a – угол его поворота относительно единой оси координат. Типов объектов интереса два: поисковые объекты – это те предметы, которые постоянно находятся в секторе, и роботы-соседи, которые также исследуют этот сектор. Для некоторых s_i может быть $O = \emptyset$.

Каждый робот $r_i \in R$ описывается как:

$$r_i = (id, x, y, a, \{O\}, \bar{N}, \{S_V\}, \{S_N\})$$

где id – уникальный идентификатор робота, x, y – координаты робота, a – угол его поворота относительно единой оси координат, O – множество зафиксированных объектов интереса, в момент времени $t = 0$, $O = \emptyset$, $\bar{N} = (n_1, n_2, \dots, n_m)$ – вектор, размерность m которого определяет число сторон робота, откуда может быть зафиксирован сигнал от соседних роботов, S_V – сектора, которые нужно посетить

роботу, в момент времени $t = 0$, $S_V = S$, S_N - сектора, которые посетил робот, в момент времени $t = 0$, $S_N = \emptyset$.

Считается, что робот r_i посетил сектор s_i , если:

$$\sqrt{(x_S - x_R)^2 + (y_S - y_R)^2} \leq \delta$$

где, x_s, y_s – координаты центра сектора s_i , x_r, y_r – координаты робота r_i , δ – ошибка по положению робота относительно центра сектора.

Неявная коммуникация описывается следующим образом:

$$\forall n_i \ i = 1..m, \begin{cases} n_i = 1, \text{ если сигнал от соседа был принят} \\ n_i = 0, \text{ если сигнала принято не было} \end{cases}$$

Если $n_i \neq 0$, то сектора со стороны приема сигнала данным роботом также отмечаются опосредованно им посещенные, т.е. возможно непосредственно он их не посещал, но он заносит их в список посещенных (см. Рис. 1).

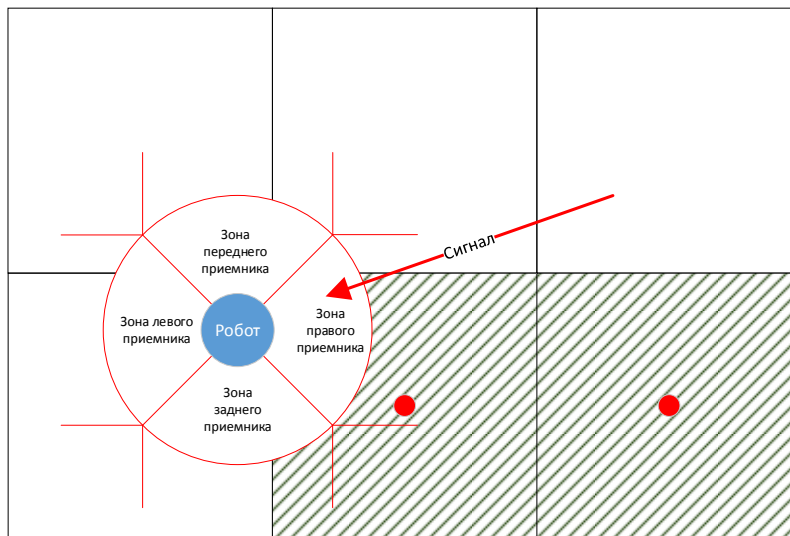


Рис. 1 Пример неявной коммуникации для робота с четырехмерным вектором N . Сигнал принят справа, а штрихом обозначены сектора, которые считаются роботом-приемником как опосредованно посещенные, т.к. их центры попадают в зону активированного приемника сигнала.

Необходимо, чтобы:

$$\forall r_i \in R \ S_V = \emptyset, S_N = S$$

т.е., каждый робот должен, хотя бы опосредованно, посетить каждый сектор местности M .

3. Техническая реализация

Моделирование работы подобного механизма с высокой степенью абстракции было показано в [7].

Была реализована система инфракрасной локальной связи (ИКЛС) и создан ее виртуальный аналог для среды моделирования Gazebo. Данная среда удобна при моделировании работоспособности подобных алгоритмов и легко совместима с инструментарием ROS, который использовался при разработке системы управления роботами.

Аппаратная начинка системы ИКЛС включает в себя 12 ИК-диодов с длиной волны в 920 нм, соединенных последовательно-параллельно (см. Рис. 2).

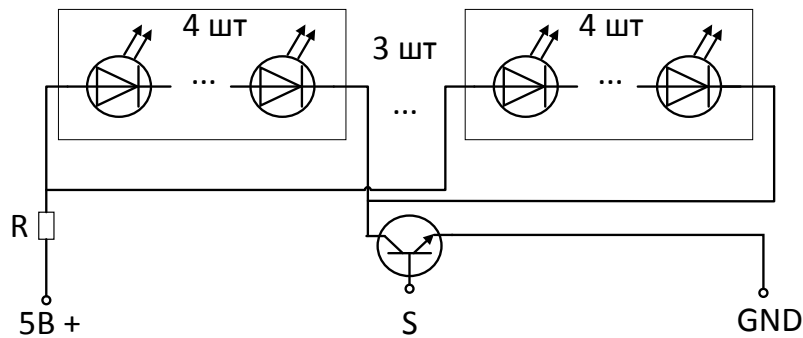


Рис. 2 Схема излучателя системы ИКЛС.

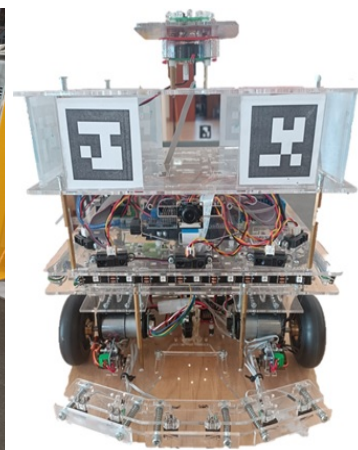
В качестве приемников используются четыре TSOP 31236 с несущей в 36 КГц. Управление процессом приемо-передачи осуществляют два контроллера atmega328. Связь с основным управляющим контроллером робота обеспечивается по протоколу I2C.

В основе программной части системы ИКЛС лежит протокол RC5, который позволяет передавать до 16 значащих бит за один сеанс связи на расстояние, которое задается подстроечным резистором R. Применительно к задаче невидимой коммуникации важен исключительно параметр дальности связи.

Натурные эксперименты проводились на лабораторном полигоне с использованием четырех роботов YARP-8, оснащенных системой ИКЛС. Поиск объектов интереса, как и локализация на полигоне производился по камерам, которые установлены на каждом из роботов. В видеопотоке распознаются агисо-маркеры, которые ограничивают полигон (навигационные), или наклеены на специальные кубики и на борта роботов (объекты интереса).



а)



б)

Рис. 3 а) лабораторный полигон, б) робот YARP-8. Вверху робота расположена система ИКЛС.

4. Экспериментальная часть

Был проведен ряд экспериментов, как вычислительных в среде Gazebo, так и на реальном полигоне. В конкретных опытах и виртуальный и реальный полигон делились на 16 секторов площадью 1 м^2 . Роботы произвольно располагались на местности, дальность фиксации объектов интереса была программно ограничена 1м, т.к. площадь

местности невелика и роботы могут практически не двигаясь по полигону сразу увидеть большую часть объектов интереса. Выбор сектора для дальнейшего движения к нему осуществлялась с помощью «жадного» алгоритма. Дальность действия локальной связи также была ограничена 1м с помощью подстроечного резистора. В экспериментах было задействовано четыре робота YARP-8.

Осуществлено более 30 виртуальных и 10 реальных опытов. На всех тестовых испытаниях алгоритм показал корректную работу: при попадании в зону действия системы ИКЛС одного робота, другой фиксировал этот факт и отмечал не посещенные им сектора как опосредовано посещенные. Другими словами подразумевается, что эти сектора исследует кто-то другой. При этом непосредственного обмена данными между роботами не происходило.

Вместе с тем, не смотря на сокращение общего времени исследования местности (в 1,5-2 раза по сравнению с единичным роботом), что являлось очевидным результатом, выявлено, что в ряде опытов оставались сектора, которые не были посещены ни одним роботом, т.к. они считались опосредовано посещенными у всех. Численность таких секторов максимально достигала 25% от общей численности (4 сектора). Не менее 90 % всех объектов интереса были обнаружены в сумме всеми роботами.

5. Заключение

Результаты натурных экспериментов показали техническую возможность использования неявной коммуникации при решении задачи разведки местности. Она позволяет опосредовано эксплуатировать каналы локальной связи, задействованные для более важных задач, где необходим обмен данными. Вместе с тем, необходим и дальнейший сбор статистики по экспериментальной части, и расширение зоны действия группы, т.к. эффекты пропуска секторов могут быть связаны с высокой плотностью группы на полигоне.

Работа выполнена за счет государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

1. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. Социальные сообщества роботов. М.: УРСС, 2019. 352 с.
2. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. 1969. 316 с.
3. Berlinger F., Gauci M., Nagpal R. Implicit coordination for 3D underwater collective behaviors in a fish-inspired robot swarm // *Sci. Robot.* 2021. Vol. 6, No. 50. P. 1-15.
4. Vorobyev V.V., Karpov V.V., Nasedkin A.S. On one implementation of collective behavior in a group of underwater robots // *Trans. Krylov State Res. Cent. Санкт-Петербург.* 2021. Vol. S-I, No. 2. P. 7-16.
5. Dorigo M., et al. Swarm-bot: Design and implementation of colonies of self-assembling robots // *Computational Intelligence: Principles and Practice.* 2006. P. 103-136.
6. Rubenstein M., Ahler C., Nagpal R. Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors // *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.* 2012. P. 3293-3298.
7. Воробьев В.В. Коммуникационный аспект задачи исследования области группой роботов с локальным взаимодействием // IV Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2017). Казань, 5-6 октября 2017. Казань: Центр инновационных технологий, 2017. С. 216-225.