

Беспроводные технологии обмена данными для взаимодействия группы мобильных роботов¹

Алексеев А.Ю.

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

В статье поставлена проблема взаимодействия мобильных роботов по существующим беспроводным технологиям. Приводятся особенности оптических и радиочастотных каналов связи. Сделан вывод о необходимости физической реализации сети *MANET* для взаимодействия коллектива мобильных роботов между собой.

Ключевые слова: коллектив мобильных роботов, взаимодействие мобильных роботов, обмен данными, беспроводная сеть

1. Введение

Непрерывное развитие информационных технологий требует постоянного увеличения эффективности обработки и передачи информации. Очевидно, что при управлении коллективом мобильных роботов линии передачи данных должны иметь минимальный расход энергии, обладать высокой пропускной способностью и, конечно, должны быть беспроводными. Беспроводные каналы передачи данных можно разделить по используемой среде распространения сигнала на оптические и радиочастотные.

2. Оптические каналы

Во многих коллективах роботы взаимодействуют между собой и центральным компьютером с помощью инфракрасной связи [1–4].

Самым распространённым стандартом для организации передачи информации по открытому инфракрасному каналу является *IrDA standart (Infra red Data Assotiation)*. Он позволяет соединяться с периферийным оборудованием на расстоянии до 1 метра в режиме точка–точка, используя узкий ИК-диапазон (850–900 нм с 880 нм «пиком»). *IrDA* основан на архитектуре коммуникационного СМ-порта ПК, который использует универсальный

асинхронный приёмо-передатчик *UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)* и работает со скоростью передачи данных 2400–115200 бит/с.

Связь в *IrDA* полудуплексная, т.к. передаваемый ИК-луч неизбежно засвечивает соседний *PIN*-диодный усилитель приёмника. Воздушный промежуток между устройствами позволяет принять ИК-излучение только от одного источника в один момент.

Для ИК-излучения существует два источника интерференции (помех), основным из которых является солнечный свет. Но, благодаря преобладанию в нём постоянной составляющей, правильно спроектированные приёмники способны компенсировать большие постоянные токи через *PIN*-диод. Другой источник помех — флуоресцентные лампы — часто применяются для общего освещения. Для снижения влияния таких источников приёмники должны иметь полосовой фильтр. Вероятность ошибок связи будет зависеть от правильного выбора мощности передатчика и чувствительности приёмника. В *IrDA* выбраны значения, гарантирующие, что описанные выше помехи не будут влиять на качество связи [5].

Также возлагаются большие надежды на использование лазерных каналов передачи данных, именуемых как атмосферная оптическая линия связи (АОЛС). Технология основывается на передаче данных модулированным излучением в инфракрасной части спектра через атмосферу. Передатчиком служит мощный полупроводниковый лазерный ди-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-29-04165 офн_м).

Таблица 1. Сравнительные характеристики технологий *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee*

Характеристики	Технология (стандарт)		
	<i>Bluetooth</i> (<i>IEEE</i> 802.15.1)	<i>Wi-Fi</i> (<i>IEEE</i> 802.11b)	<i>ZigBee</i> (<i>IEEE</i> 802.15.4)
Пропускная способность, кбит/с	723,1	11000	250
Размер стека протокола, кбайт	более 250	более 1000	32–64
Размер стека протокола, кбайт	1–10	0,5–5	100–1000
Максимальное число узлов в сети	7	10	65536
Диапазон действия, м (средние значения)	10–100	20–300	10–100

од. Стандартные системы АОЛС имеют скорость передачи данных от 6 Мб/с до 1.25 Гб/с. Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в пределах 700–950 нм или 1550 нм в зависимости от применяемого лазерного диода. Системы АОЛС с длиной волны 700–950 нм надежны, экономически целесообразны и пригодны для большинства приложений, в том числе для сетей 1 Гб/с *Ethernet*. Системы атмосферной оптической линии связи с длиной волны 1520–1600 нм подходят для передачи данных с более высокой мощностью и на большие расстояния.

Качество работы и само функционирование систем беспроводной связи зависят от погодных условий и экологических факторов. Системы АОЛС сложнее незаметно взломать, чем радиочастотные системы, и в них можно встраивать контроль за попыткой взлома.

Корректировка пучка является важным фактором производительности системы АОЛС. Даже при надлежащей установке приемник АОЛС очень восприимчив к перемещению или смещению пучка света. Смещение могут вызывать такие обычные погодные явления, как ветер, но оно может также быть связано с изменением температуры. Для корректировки пучка света в системах АОЛС применяют два основных способа:

- узкий сфокусированный пучок света с автоматической корректировкой смещения,
- широкий пучок света без корректировки.

Системы с автоматической корректировкой в состоянии устранять смещение до того, как нежелательное смещение приведет к нарушению передачи. Расстояние и скорость передачи являются главными факторами при определении необходимости автоматической корректировки. Короткие, до 200 метров, линии со скоростью передачи 10 Мб/с менее уязвимы, чем 500 метровые линии со скоростью передачи 1.25 Гб/с. Широкий пучок увеличивает зону приёма. Однако, серьезным недостатком является то, что более широкий пучок в большей степени подвержен затуханию и поэтому более восприимчив к погодным условиям [6].

Одним из важных преимуществ оптической

связи является безопасность канала. Перехватить сигнал — луч света — и при этом не прервать передачу данных очень затруднительно.

К основным недостаткам оптических технологий можно отнести необходимость обеспечения прямой видимости между оптическими сенсорами приёмника и передатчика, а также ограниченные допуски на угол их отклонения относительно друг друга.

3. Радиочастотные системы

В отличие от оптических каналов радиочастотные системы не требуют обеспечения прямой видимости между приёмопередатчиками. На сегодняшний день наиболее широкое распространение получили три технологии беспроводной передачи данных: *Bluetooth*, *Wi-Fi* и *ZigBee* [7]. Сравнительные характеристики этих технологий приведены в табл. 1.

Технология *Bluetooth* поддерживает как соединения типа «точка–точка», так и «точка–много точек». Два или более использующих один и тот же канал устройства образуют пикосеть (*piconet*). Одно из устройств работает как основное (*master*), а остальные — как подчиненные (*slave*). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств, при этом остальные подчиненные устройства находятся в состоянии «парковки», оставаясь синхронизированными с основным устройством. Взаимодействующие пикосети образуют «распределенную сеть» (*scatternet*). В каждой пикосети действует только одно основное устройство, однако подчиненные устройства могут входить в различные пикосети. Кроме того, основное устройство одной пикосети может являться подчиненным в другой.

В основу *Wi-Fi* положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной, так и из нескольких ячеек. Каждая сота управляется базовой станцией. Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой через распределительную систему, представляющую собой эквивалент магистрального сегмента кабельных локальных вычислительных сетей.

Стандарт *ZigBee* определяет три типа устройств: координаторы, маршрутизаторы и оконечные устройства. Каждая сеть должна содержать только один координатор. Основная задача координатора заключается в том, чтобы задать параметры для создания сети и запустить процесс настройки, предполагающий выбор радиочастотного канала, уникального сетевого идентификатора и набора рабочих параметров. Маршрутизаторы могут использоваться для расширения радиуса действия сети, поскольку они способны выполнять функции и ретрансляторов между устройствами, расположенными слишком далеко друг от друга, чтобы взаимодействовать напрямую. Оконечные устройства не участвуют в маршрутизации.

Основной недостаток данных технологий заключается в том, что они имеют иерархический принцип построения сети, то есть данные от одного оконечного устройства передаются другому оконечному устройству только через маршрутизатор. Представим боевого робота на поле боя, где ситуация меняется каждую секунду и требуется оперативно доложить обстановку и получить соответствующий приказ. Такое соединение помимо надежности и безопасности должно быть еще и устойчивым к изменениям топологии, маршрутизация должна обладать быстрой сходимостью, т.е. гарантировать нахождение маршрута заданного качества за разумное время, гарантировать отсутствие зацикливаний, обеспечивать многоадресную рассылку. При взаимодействии большой группы мобильных роботов данная проблема становится еще актуальнее.

В отличие от рассмотренных выше беспроводных сетей с выделенными управляющими центрами, *MANET* (*Mobile Ad-hoc NETWORKS*) используют распределенные принципы управления сетью с возможностью самоорганизации и самоуправления узлов сети. Специфика *MANET* сетей состоит в том, что их топология постоянно изменяется из-за перемещения узлов сети в пространстве или изменения условий распространения радиосигнала [8].

Самоорганизующиеся сети *MANET* обладают следующими преимуществами над беспроводными сетями традиционной архитектуры:

- возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика;
- устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети;
- возможность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;
- простота и высокая скорость развертывания.

Использование *MANET* затрудняется тем, что разработанные протоколы маршрутизации на сего-

дняшний день не реализованы физически, отсутствует аппаратная реализация.

4. Заключение

Таким образом, оптические каналы способны обеспечить связь между роботами только в зоне прямой видимости в режиме «точка-точка», и не способны обеспечивать взаимодействие группы мобильных роботов. Радиочастотные технологии *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee* не обеспечивают нужную производительность вследствие неэффективности иерархической структуры сети при использовании данных технологий для взаимодействия группы мобильных роботов в отличие от сетей *MANET*.

Список литературы

- [1] Joerg Seyfried, Marc Szymanski, Natalie Bender, Ramon Estana, Michael Thiel, Heinz Woern. The I-SWARM project: Intelligent Small World Autonomous Robots for Micro-manipulation // From Animals to Animats 8: The Eighth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'04) Workshop on Swarm Robotics, 2004. P. 70–83.
- [2] Michael Rubenstein, Christian Ahler, Radhika Nagpal. Kilobot: A Low Cost Scalable Robot System for Collective Behaviors // Robotics and Automation (ICRA). 2012. P. 3293–3298.
- [3] Caprari G. Autonomous Micro-Robots: Applications and Limitations. Ph.D. thesis. EPFL. 2003. 134 p.
- [4] Mondada, F., Bonani, M., Raemy, X., Pugh, J., Cianci, C., Klapotocz, A., Magnenat, S., Zufferey, J.-C., Floreano, D. and Martinoli, A. The e-puck, a Robot Designed for Education in Engineering // Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions. 2009. 1(1). Pp. 59–65.
- [5] Лень М. Инфракрасный протокол связи — IrDA // URL: <http://www.ixbt.com/peripheral/irda.html> (дата обращения 14.09.2016).
- [6] Дарюш З. Использование атмосферной оптической линии связи FSO в сетях передачи данных // URL: <http://ockc.ru/?p=5608> (дата обращения 05.05.2016).
- [7] Артюшенко В.М., Корчагин В.А. Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6, № 2. С. 18–24.
- [8] Винокуров В.М. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях / В.М. Винокуров и др. // Доклады ТУСУРа. 2010. № 2(22), часть 1. С. 288–292.

Wireless technologies data exchange for the interaction of a group of mobile robots

Alekseev A.Yu.

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa

The article is formulation of the problem of interaction of mobile robots according to the existing wireless technologies. Provides the features of optical and radio frequency communication channels. The conclusion about the necessity of physical implementation of MANET for communication of a team of mobile robots among themselves.

Keywords: the team of mobile robots, the interaction between mobile robots, exchanging data, wireless network

