

УДК 621.384.38

## **Многоканальная ИК-система сбора и передачи информации**

*А. В. Афанасьев, В. А. Односеццев, И. Я. Орлов*  
Нижегородский государственный университет, г. Нижний Новгород, Россия

*Предложены структура построения и принцип работы многоканальной ИК-системы сбора и передачи информации и ее составных частей. Рассмотрены протоколы обмена данными между отдельными частями системы.*

Оптическая связь, построенная по принципу передачи информации в свободном пространстве, выступает как средство, способное восполнить недостаток свободных частот, выделенных для радиосвязи [1–6].

Предложенная ИК-система сбора и передачи информации в основном предназначена для использования на промышленных предприятиях. Целесообразность внедрения такой системы определяется следующими достоинствами:

системы оптической связи позволяют по сравнению с радиодиапазоном резко увеличить объем передаваемой информации. Кроме того, повышается надежность оборудования, распределенного по всей территории предприятия, поскольку ограничения, связанные с прокладкой кабелей, отсутствуют;

так как носитель передачи информации не воспринимает помехи внешних электромагнитных полей, возможна передача информации без снижения надежности приборов, расположенных в непосредственной близости от мощного электрооборудования;

исключается возникновение неисправности оборудования при использовании его в крайне неблагоприятных условиях эксплуатации, поскольку применяемые волоконные световоды или открытый оптический канал устойчивы к воздействию огня, воды, грозových разрядов;

отпадает необходимость в выделении системе собственного радиоканала, таким образом не налагаются ограничения на функционирование системы при жестких требованиях к электромагнитной совместимости устройств.

### **Структура ИК-системы**

Разработанная система представляет собой многоканальную систему с открытым ИК-каналом передачи информации от источника к приемнику

сбора и обработки полученных данных. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

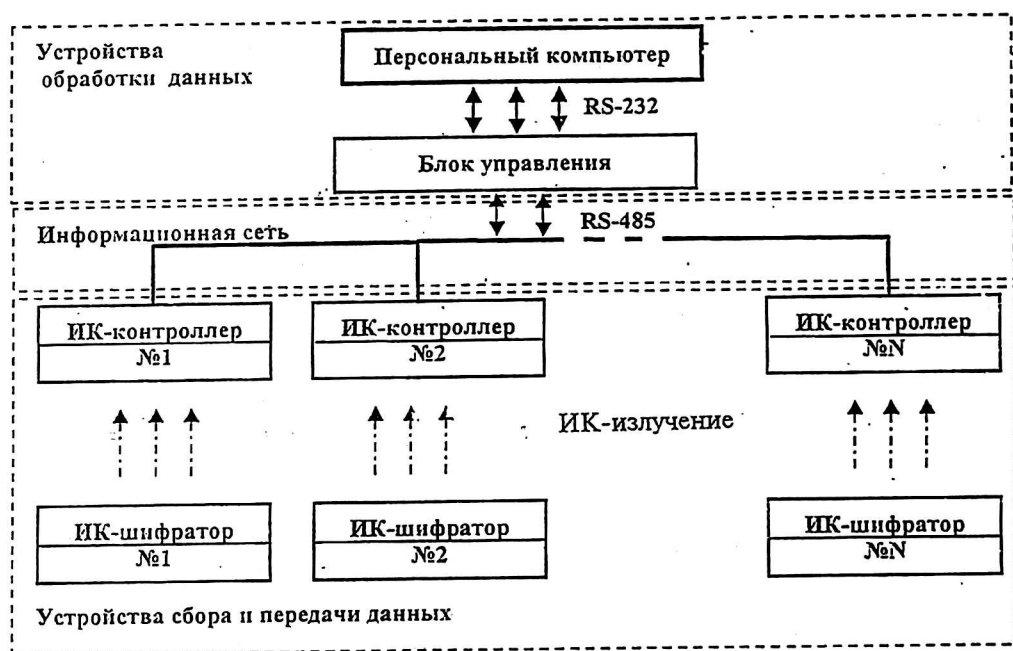


Рис. 1. Структурная схема ИК-системы сбора и передачи информации

Систему можно представить в виде трех функциональных частей:

- *устройства сбора и передачи информации* — это функционально-законченные устройства, образующие открытый ИК-канал. Каждый ИК-шифратор осуществляет периодическую генерацию кодированной последовательности электрических импульсов и модуляцию ими светового потока с длиной волны 0,88—0,96 мкм. ИК-контроллеры используются для приема кодированного ИК-излучения, преобразования его в электрический сигнал и дешифрации. Так как все ИК-контроллеры объединены в информационную сеть, то каждый из них должен поддерживать протокол обмена в сети;
- *информационная сеть* — в данной системе реализована многоточечная сеть с централизованным управлением. Отметим, что в многоточечной сети все станции подключены к общей линии связи. В такой сети каждая станция может воспринимать сообщения, передаваемые любой другой станцией, но одновременно передачу может вести только одна станция. При этом каждая станция должна выбирать только адресованные ей сообщения и не принимать все остальные. Как известно, в сети с централизованным управлением главная станция управляет всеми операциями путем посылки управляющих сообщений. Каждой станции соответствует код идентификации данной станции в виде последовательности из одного или нескольких символов. В сети с конкурирующими станциями любая из станций может стать главной в результате процедуры реализации или разрыва связей. В данной реализации используется идеология сети с централизованным управлением в силу того, что нет необходимости в высокоскоростном обмене данными. Более того, каждый компонент сети, кроме блока управления, выступающего в качестве

ведущего устройства, является подчиненным устройством и его функция с точки зрения информационной сети — выдать данные, пришедшие по ИК-каналу. Сеть образована последовательным симметричным интерфейсом RS-485. Таким образом, возможно подключение до 32 драйверов и приемников к сети с максимальной длиной кабеля между компонентами сети до 1200 м;

- *устройства обработки данных* — к ним относятся блок управления и персональный компьютер (ПК). Блок управления выполняет следующие функции: ведущего сети, устройства сбора, обработки и индикации данных. Сигнализирует об изменении состояния сети: неответ ведомого, изменение положения объектов в контролируемой области пространства. Так как блок управления является автономным, т. е. имеет источник резервного питания (аккумулятор), то он также сигнализирует пропадание напряжения питания основного источника (~220 В). ПК предназначен для более детальной дешифрации данных и их хранения и не является обязательным компонентом системы, которая может функционировать без него. Связь ПК и блока управления осуществляется с помощью асинхронного последовательного интерфейса RS-232C. ПК является инициатором обмена (ведущим).

Рассмотрим более подробно каждый из компонентов системы.

### ИК-шифратор

ИК-шифратор (рис. 2) выполнен на базе AVR Atmel RISC-микроконтроллера [7]. AVR-микроконтроллеры фирмы “Атмел” — это 8-разрядные RISC-микроконтроллеры для встраиваемых приложений. Они привлекают внимание разработчиков наилучшим соотношением показателей быстродействие/энергопотребление, удобными режимами программирования, доступностью программно-аппаратных средств поддержки и широкой номенклатурой выпускаемых кристаллов.

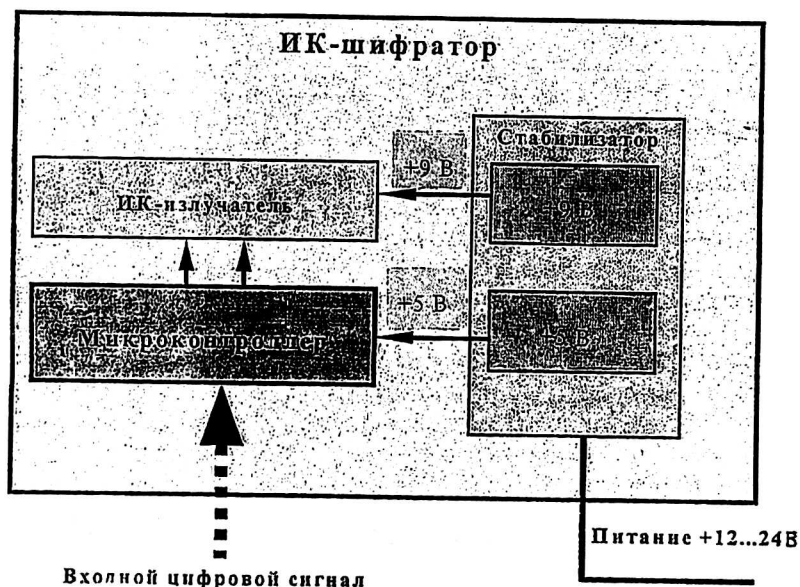


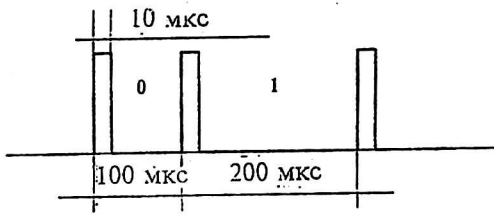
Рис. 2. Структурная схема ИК-шифратора

В качестве излучающего ИК-диода применен АЛ161. Узкая диаграмма направленности диода  $\pm 15^\circ$  уменьшает вероятность достоверного приема ИК-излучения на расстояниях больше 8 м. Для расширения диаграммы направленности вместо одного диода в нашей системе используем три диода, которые конструктивно расположены триадой. Ток, протекающий через ИК-светодиод, достигает здесь до 1 А в импульсе. Для решения этого использована специальная схема накопления энергии.

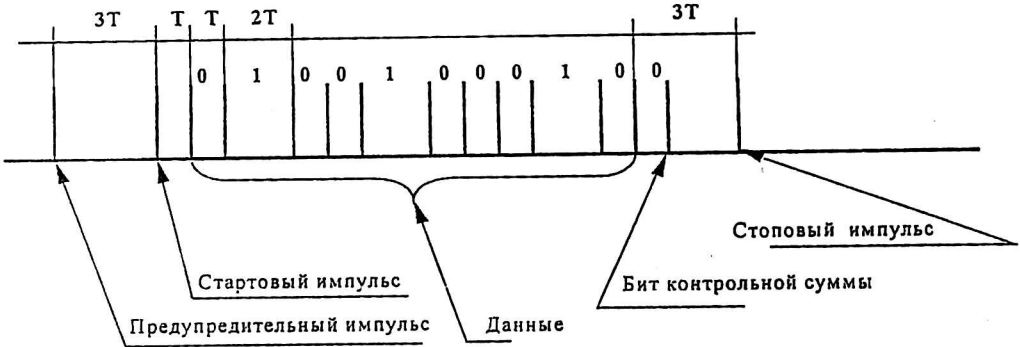
ИК-шифратор может работать в двух режимах:

- осуществлять генерацию и передачу собственной уникальной кодовой последовательности импульсов (если ставится задача обнаружения объекта);
- преобразовывать цифровые выходные данные какого-либо устройства (измерительного датчика, контроллера и т. д.) в формат, ниже описываемого протокола, и передавать их по ИК-каналу.

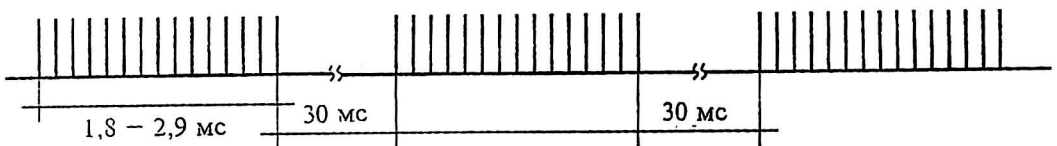
Микроконтроллер шифратора функционирует под управлением программного обеспечения, зашитого в FLASH-память микроконтроллера. На рис. 3 приведена структура телеграммы, передаваемой ИК-шифратором. Информация передается телеграммами, представляющими собой пакет импульсов, и кодируется во временных интервалах между импульсами. Телеграмма содержит 15 импульсов, промежуток времени между телеграммами — 30 мс.



Представление бит данных



Структура телеграммы, передаваемой ИК-шифратором



Последовательность передачи телеграмм

Рис. 3. Структурная схема ИК-контроллера

Телеграмма начинается предупредительным импульсом. Далее через интервал  $3T$  следует стартовый импульс, и через интервал  $T$  — 10 бит данных, заканчивающихся битом контрольной суммы. Контрольная сумма считается как продольное дополнение до нечетности суммы бит данных. После бита контрольной суммы через интервал  $3T$  следует заключительный бит пакета — стоповый импульс.

Интервалу  $T$  соответствует время 100 мкс, логическому "0" — временной интервал  $T$ , т. е. 100 мкс, логической "1" — временной интервал  $2T$ , т. е. 200 мкс. Все импульсы длительностью 10 мкс. Передавая 10 бит данных, можно закодировать до 1024 контролируемых объектов.

### ИК-контроллер

ИК-контроллер (рис. 4) осуществляет прием кодированного ИК-излучения и его декодировку. В информационной сети ИК-контроллер является ведомым компонентом.

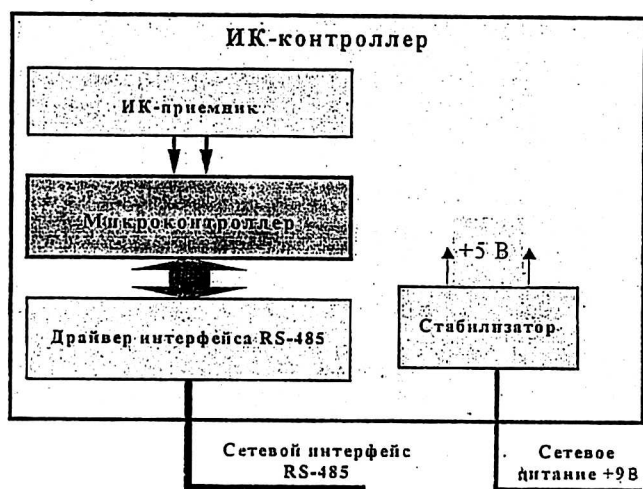


Рис. 4. Структура телеграммы

Приемником ИК-излучения служит фотодиод КДФ111, сигнал с которого поступает на микросхему усилителя. Усиленный сигнал подается на микроконтроллер. ИК-шифратор также выполнен на базе AVR-микроконтроллера, осуществляющего декодирование сигнала в соответствии с протоколом передачи. Любое несоответствие кодовой последовательности с протоколом интерпретируется как ошибка приема. Часть алгоритма работы ИК-контроллера, связанная с декодированием принятого сообщения, способна определять истинность переданных данных. Для этого в алгоритм работы введен программный интегратор сообщений. Пакеты данных по ИК-каналу следуют с интервалом в 30 мс. Время интегрирования принимаемых сообщений выбрано 2,4 с. Таким образом, за этот промежуток времени каждый ИК-контроллер может принять до 80 пакетов данных, в режиме обнаружения объекта по количеству ошибок приема и истинных данных ИК-контроллер принимает решение о наличии объекта.

Для объединения в сеть каждый ИК-контроллер имеет микросхему драйвера интерфейса RS-485 и соответствующее программное обеспечение, поддерживающее обмен в сети.

### Блок управления

Блок управления (рис. 5) выполняет функции ведущего информационной сети, образованной интерфейсом RS-485, осуществляет визуальную и звуковую индикацию состояния присутствия объектов в контролируемой области пространства, а также состояния ИК-контроллеров.

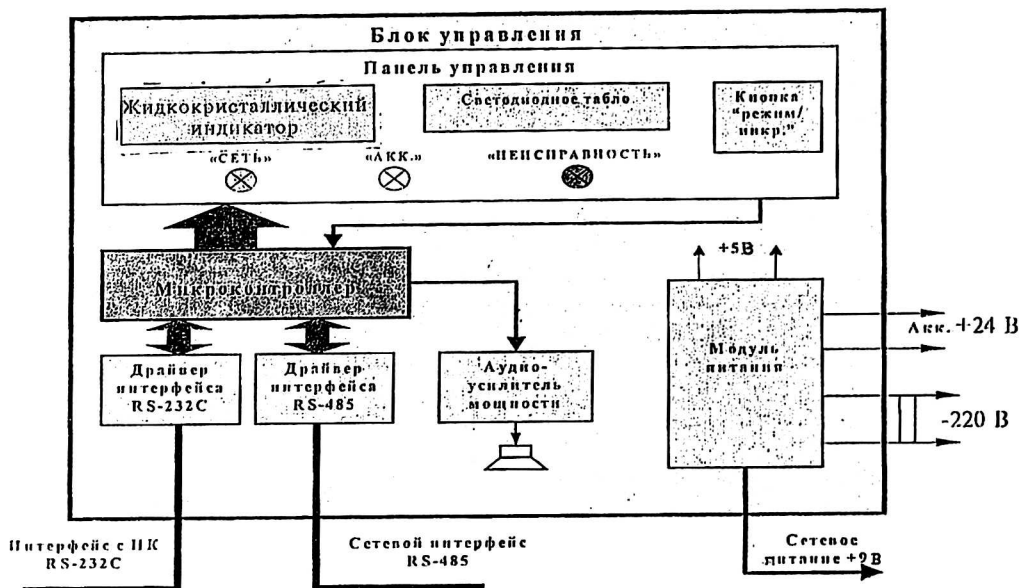


Рис. 5. Структурная схема блока управления

Блок управления выполнен на базе AVR-микроконтроллера с расширенным набором периферии и является ведущим устройством в информационной сети и ведомым — в обмене с ПК. Протокол обмена блока управления — ПК и блок управления — ИК-контроллеры из семейства MODBUS. Схема обмена данными для обоих интерфейсов идентична, разница заключается лишь в количестве байт ответа ведомого. Обмен в сети происходит следующим образом: каждое устройство в сети имеет свой уникальный адрес. Блок управления посылает телеграмму запроса одному из ИК-контроллеров. После определенного промежутка времени ИК-контроллер, которому эта телеграмма отправлена, отвечает. Если данные ответа неверны (не сходится контрольная сумма, другой адрес ответа или нет ответа), то блок управления повторяет запрос по данному адресу. Максимальное число обращений по одному адресу — 5, и если за это количество посылок правильного ответа не получено, то отмечается, что данное устройство сети не существует или неисправно, и адрес запрашиваемого устройства инкриминируется, тем самым блок управления переходит к опросу следующего ИК-контроллера.

Таким образом, осуществляется циклический опрос компонентов сети. Если приняты верные данные, блок управления фиксирует ответ устройства с данным адресом, и через определенный промежуток времени производит запрос в сеть по следующему адресу. Организация телеграмм байтовая (стартовый бит, 8 бит данных, бит дополнения до нечетности, 1-стоповый бит).

Блок управления осуществляет также обработку и индикацию полученных данных на жидкокристаллическом дисплее. В режиме обнаружения на дисплей выводятся сообщения о нахождении или отсутствии объекта (каждому

объекту сопоставляется ИК-шифратор, таким образом, каждый объект в контролируемой области имеет свой уникальный номер) в контролируемой области пространства, покрываемой каким-либо ИК-каналом. При отсутствии связи блока управления с каким-либо ИК-контроллером выводится сообщение о неисправности последнего. Таким образом, можно следить за состоянием всей системы в режиме реального времени.

### Персональный компьютер (ПК)

ПК не является обязательным компонентом системы и используется для более детальной дешифрации принимаемой информации. Так, возможность блока управления сводится только к индикации номера объекта, а ПК может по данному уникальному номеру воспроизвести другие свойства объекта наблюдения, привязать поведение объекта к реальному времени. ПК имеет базу данных по каждому учитываемому параметру контролируемого объекта, т. е., используя ПК, можно вести более детальное наблюдение над составными частями системы и контролируруемыми объектами.

### Энергетический потенциал и дальность действия системы

Оценим дальность действия системы, для чего определим соотношение сигнал/шум, необходимое для достоверного приема.

Приемником производится прием информационного пакета, состоящего из  $N$  двоичных информационных символов. Известно [8], что оптимальный алгоритм приема, минимизирующий полную вероятность ошибки в случае учета гауссовского шума фотодиодного ИК-приемника, осуществляется решающей схемой поэлементного приема. Средняя вероятность ошибки при приеме одного двоичного символа определяется соотношением [8]:

$$P_{er} = 1 - F(q), \tag{1}$$

где  $q^2 = \frac{P_S}{P_n}$  — энергетическое соотношение сигнал/шум на входе приемника;  
 $P_S, P_n$  — мощности сигнала и шума, приведенные ко входу приемника;

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad \text{— функция Лапласа.}$$

Вероятность правильного приема информационного пакета, состоящего из  $N$  двоичных символов, при поэлементном приеме определяется соотношением

$$P_{tr} = (1 - P_{er})^N = [F(q)]^N. \tag{2}$$

Рассчитанная согласно (2) зависимость вероятности правильного приема пакета при  $N = 30$  показана на рис. 6. Характерной особенностью зависимости (2) является выраженный пороговый эффект: при  $q^2 < 10$  происходит резкое уменьшение вероятности приема.

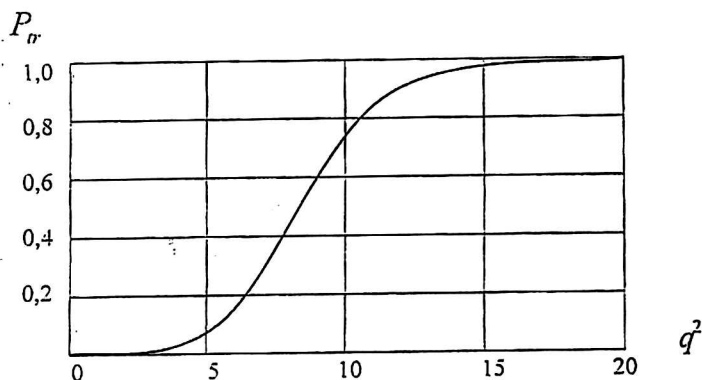
Приведенную ко входу мощность шума ИК-приемника с фотодиодным детектором оцениваем согласно [2], пренебрегая при этом фоновой засветкой и дробовым шумом фотодиода:

$$P_n = \frac{\hbar f}{\gamma e} \left[ \frac{4kT_n B}{R} \right]^{\frac{1}{2}}, \tag{3}$$

где  $\hbar$  — постоянная Планка;  
 $f$  — частота ИК-излучения;

- $e$  — заряд электрона;  
 $\gamma$  — квантовый выход;  
 $k$  — постоянная Больцмана;  
 $T_n$  — шумовая температура;  
 $B = \frac{10}{\tau}$  — полоса пропускания усилителя;  
 $\tau$  — длительность ИК-импульса;  
 $R$  — сопротивление нагрузки фотодиода.

Рис. 6. Зависимость вероятности правильного приема от соотношения сигнал/шум



Пиковую мощность сигнала на входе фотодетектора оцениваем соотношением

$$P_S = \eta P_e \frac{4\pi S}{\Theta^2 r^2}, \quad (4)$$

- где  $\eta$  — КПД излучающего светодиода;  
 $P_e$  — электрическая мощность возбуждения светодиода;  
 $\Theta$  — ширина диаграммы излучения;  
 $S$  — площадь поверхности фотодиода;  
 $r$  — расстояние между излучателем и ИК-приемником.

В разработанной системе использовались электронные компоненты со следующими параметрами:

$$T_n = 3000 \text{ К}; B = 1 \text{ МГц}; \\ R = 10 \text{ кОм}; \gamma = 0,5; P_e = 5 \text{ Вт}; \eta = 0,05; \Theta = 20^\circ; S = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Согласно (2)—(4) дальность действия системы оценивается соотношением

$$r[\text{м}] \approx \frac{100}{q}, \quad (5)$$

в частности, для достижения уверенного приема ( $P_{rr} = 0,98$ ) требуемое соотношение сигнал/шум  $q^2 = 15$  ( $q \approx 4$ ), следовательно, расчетная дальность  $r = 25$  м.

Таким образом, учитывая пороговый характер зависимости  $P_{rr}(q^2)$  в случае возможного взаимного перемещения излучателя и фотоприемника, необходимо использовать излучающие светодиоды с достаточно широкой диаграммой ( $\Theta = 20\text{--}30^\circ$ ), компенсируя расширение диаграммы увеличением мощности или числа светодиодов.

Разработанный набор программно-аппаратных средств способен решать задачи по приему-передаче информации, а также определению наличия или

отсутствия объектов и их идентификации в контролируемой области пространства. Эта система соблюдает требования по электромагнитной совместимости и абсолютно свободна как от приема, так и от передачи электромагнитных помех, что позволяет повысить скрытность информации в канале передачи.

### Л и т е р а т у р а

1. Гроднев И. И. Оптоэлектронные системы передачи информации. — М.: Знание, 1991.
2. Корзюк В. И., Финк Л. М., Щелкунов Н. Н. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. — М.: Радио и связь, 1987.
3. Кузьмин И. В. Кодирование и декодирование в информационных системах. — Киев: Вища шк., 1985.
4. Оптическая связь. — М.: Радио и связь, 1989.
5. Системы передачи и сети ЭВМ. — М.: Мир, 1974.
6. Унгер Г. Г. Оптическая связь. — М.: Связь, 1979.
7. AVR. Enhanced RISC microcontroller, Data book, Atmel Corporation, 1997.
8. Radar Handbook. Editor-In-Chief Merrill J. Skolnik. Mc Graw-Hill Book Company, 1970: Русский перевод: Справочник по радиолокации/Под ред. М. Скольника. Т. 4. Радиолокационные станции и системы. — М.: Сов. радио, 1978.

## Multiple-channel IR acquisition and communication system

A. V. Afanasjev, V. A. Odnosevtcev, I. J. Orlov  
Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, Russia

*The structure of building and the principle of operation of the multiple-channel IR acquisition and communication system and its components are offered. The communication protocols between separate parts of the system are considered.*