

УДК 004.

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.010](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.010)

## Архитектура программного обеспечения для многокамерного сопровождения в системах видеонаблюдения с децентрализованной структурой

Д.А. Николаев

*ФКОУ ВПО Академия ФСО России, Орел, Российская Федерация*

**Резюме:** В статье представлен вариант архитектурных решений программного обеспечения, поддерживающего специальную функцию видеоаналитики – многокамерное сопровождение в системах видеонаблюдения, реализованных по принципу децентрализованного обмена управляющей информацией. На основе возможностей имеющихся аппаратных платформ интеллектуальных камер видеонаблюдения, а также проведенного анализа и обобщения существующих архитектур распределенных вычислительных систем предложены подходы к функциональному проектированию и последующей реализации модулей программного обеспечения, обеспечивающих протокол обмена сообщениями в ходе процесса многокамерного сопровождения объекта. Выделены функции многокамерного сопровождения, ориентированные на архитектуру сети «точка-точка» CAN (Content Addressable Network). Предложена аппаратно-программная реализация такой сети на основе протоколов CAN (Controller Area Network) – архитектура C2C (CAN2CAN). Определены особенности реализации модулей программного обеспечения в зависимости от типа управления функциями распределенной вычислительной системы и аппаратных особенностей интеллектуальных видеокамер. На примере ряда практических реализаций программного обеспечения для контроллеров с открытым исходным кодом представлена, как обобщенная многоуровневая архитектура программного обеспечения видеоаналитики функции многокамерного сопровождения, так и архитектурные шаблоны модулей и программного обеспечения, реализующего децентрализованное взаимодействие множества интеллектуальных видеокамер в процессе многокамерного сопровождения в C2C сети.

**Ключевые слова:** распределенная вычислительная система, система видеонаблюдения, децентрализованное управление, многокамерное сопровождение, видеоаналитика, программное обеспечение, одноранговая сеть, контентно-адресуемая сеть, сеть контроллеров.

**Для цитирования:** Николаев Д.А. Архитектура программного обеспечения для многокамерного сопровождения в системах видеонаблюдения с децентрализованной структурой. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=856> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.010

## The architecture of software for multi-camera tracking in video surveillance systems with a decentralized structure

D.A. Nikolaev

*Russian Federation Security Guard Service Federal Academy, Orel, Russian Federation*

**Abstract.** The article presents variant of software architectural solutions that support a special function of video analytics – multi-camera support in video surveillance systems, which based on decentralized control information exchange. Considered the main capabilities of existing hardware platforms for intelligent video surveillance cameras, as well as the analysis and generalization of existing architectures of distributed computing systems, approaches to the functional design and subsequent implementation of software modules that provide a message exchange protocol during the process of multi-camera tracking of an object are proposed. The functions of multi-camera tracking focused on the use of architecture CAN P2P network (Content Addressable Network) is highlighted. A hardware and software

implementation of such network based on the CAN (Controller Area Network) protocols - C2C architecture (CAN2CAN) is proposed. The features of the implementation of software modules are determined depending on the type of control of the functions of a distributed computing system and the hardware features of intelligent video cameras. On the example of a number of practical implementations of open source software and controllers, both a generalized multi-level architecture of video analytics software for the multi-camera support function and architectural templates of modules and software that implements the decentralized interaction of a set of intelligent video cameras in the process of multi-camera support, implemented using C2C network.

**Keywords:** distributed computing system, video surveillance system, decentralized control, multi-camera tracking, video analytics, software, peer-to-peer network, content addressable network, controller area network.

**For citation:** Nikolaev D.A. The architecture of software for multi-camera tracking in video surveillance systems with a decentralized structure. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=856>  
 DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.010 (In Russ).

## Введение

Благодаря сочетанию и активному развитию таких технологических решений, как беспроводные сенсорные сети, протоколы децентрализованного управления в peer-to-peer (P2P) сетях, встроенные вычисления (embedded computing), а также системы компьютерного зрения, в предметной области систем видеонаблюдения появилось относительно новое направление, связанное с использованием распределенных интеллектуальных камер (Distributed smart camera – DSC), далее РИВ. Это направление основано на парадигме встраивания функций видеоаналитики в качестве функциональных модулей программного обеспечения видеокамеры – узла распределенной системы видеонаблюдения, которые в режиме реального времени реализуют традиционные для централизованных систем видеоаналитики функции распознавания и сопровождения объектов на основе децентрализованного подхода.

Очевидно, что указанные функции компьютерного зрения являются сложными алгоритмами, требующими высокой производительности вычислительной системы, что приводило к архитектурным решениям систем видеонаблюдения со встроенной видеоаналитикой на основе модели «клиент-сервер», где множеством клиентов выступают видеокамеры, обеспечивающие функции получения изображения и преобразования его в видеопоток, а серверная часть представлена удаленной высокопроизводительной вычислительной системой, которая, в свою очередь, может иметь централизованную или распределенную архитектуру. Однако, активное развитие микропроцессоров на базе RISC архитектуры, в частности, поддерживающих системы команд ARM и MIPS, привело к появлению высокопроизводительных вычислительных систем на чипе (System-on-Chip – SoC), которые обладают достаточной производительностью, для переноса ряда функций видеоаналитики, в состав встраиваемой платформы, являющейся основой видеокамеры. При этом развитие архитектуры и программного обеспечения мобильных сенсорных сетей позволяют организовать взаимодействие множества видеокамер в многокамерную систему с децентрализованным управлением функциями видеоаналитики. Подобный подход обеспечивает снижение, как вычислительной, так и коммуникационной нагрузки в системах видеонаблюдения большого масштаба, а также повышает надежность их функционирования в рамках решения частных задач видеоаналитики. Разработка подобных архитектурных решений представлена в работах [1, 2, 3]. Ряд исследований посвящен моделированию отдельных функций видеоаналитики, перенесенных в распределенную систему видеонаблюдения с децентрализованным или гибридным

управлением [4, 5, 6]. Задачи, представленные в рамках этих исследований, можно разделить на два класса:

1. Однокамерная видеоаналитика – реализация функций детектирования, идентификации и сопровождения объектов в пределах поля зрения одной интеллектуальной камеры.

2. Многокамерная видеоаналитика – реализация функций взаимодействия сети интеллектуальных камер между собой, а также с централизованными узлами системы видеонаблюдения.

Задачам первого класса посвящен ряд исследований отечественных и зарубежных ученых [7, 8, 9]. При этом задачам второго класса в настоящее время уделяется недостаточное внимание. Одной из проблем является то, что исследования функций многокамерной видеоаналитики, в общем случае, носят теоретический характер, ограничивающийся рассмотрением обобщенных архитектурных решений и не затрагивающий вопросов проектирования программного обеспечения для РИВ.

Таким образом, актуальными задачами являются: анализ исследований и разработок, связанных с проектированием программного обеспечения, как распределенных вычислительных систем с децентрализованным управлением, в целом, так и реализации функций видеоаналитики в сети РИВ. Рассмотрение этих задач в статье базируется на исследованиях подходов к моделированию функции многокамерного сопровождения объектов в системе видеонаблюдения с децентрализованным управлением [9, 10, 11, 12], а также предложенном в [13] алгоритме децентрализованного управления функцией многокамерного сопровождения.

### Анализ архитектурных решений аппаратного обеспечения распределенных интеллектуальных видеокамер

Как представлено в [1] функциональная модель РИВ сочетает функции распознавания, обработки и коммуникации с другими узлами системы видеонаблюдения на основе встроенной вычислительной платформы. Фактически, РИВ представляет собой вариант встроенного вычислительного узла (embedded computer unit).

В общем виде структура РИВ представлена на Рисунке 1.

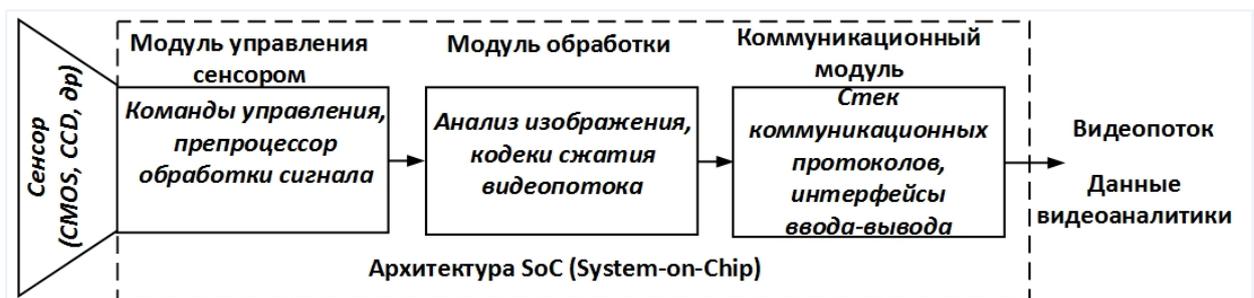


Рисунок 1 – Обобщенная структура распределенной интеллектуальной видеокамеры (РИВ)

Figure 1 – Generalized structure of a distributed intelligent video camera (RIV)

Из Рисунка 1 видно, что РИВ состоит из следующих функциональных модулей:

- сенсор – датчик изображения, реализованный, либо по технологии CMOS, либо по технологии CCD, который является источником данных для других функциональных модулей;

- модуль управления сенсором, который: получает с сенсора необработанные видеоданные и производит их предварительную обработку, такую, например, как

управление балансом белого и цветокоррекция. Дополнительными функциями этого модуля могут быть: управление скоростью захвата изображения, а также управление экспозицией сенсора;

- модуль обработки, который: получает предобработанное видеозображение и реализует в реальном времени функции его анализа. Состав этих функций определяет степень «интеллектуальности» РИВ. К наиболее распространенной из них можно отнести детектирование объектов на сцене, представленной полем зрения РИВ. Эту функцию можно отнести к функциям однокамерной видеоаналитики. Более сложной функцией, относящейся к многокамерной видеоаналитике, является функция сопровождения объектов (object tracking), в пределах полей зрения двух и более РИВ. В общем виде эта функция представлена на Рисунке 2;

- коммуникационный модуль, реализующий требуемый для конкретной системы видеонаблюдения стек коммуникационных протоколов (например, TCP/IP), а также поддерживающий функционирование сетевых интерфейсов и интерфейсов ввода-вывода, например, USB, IEEE 802.3 или IEEE 802.11.

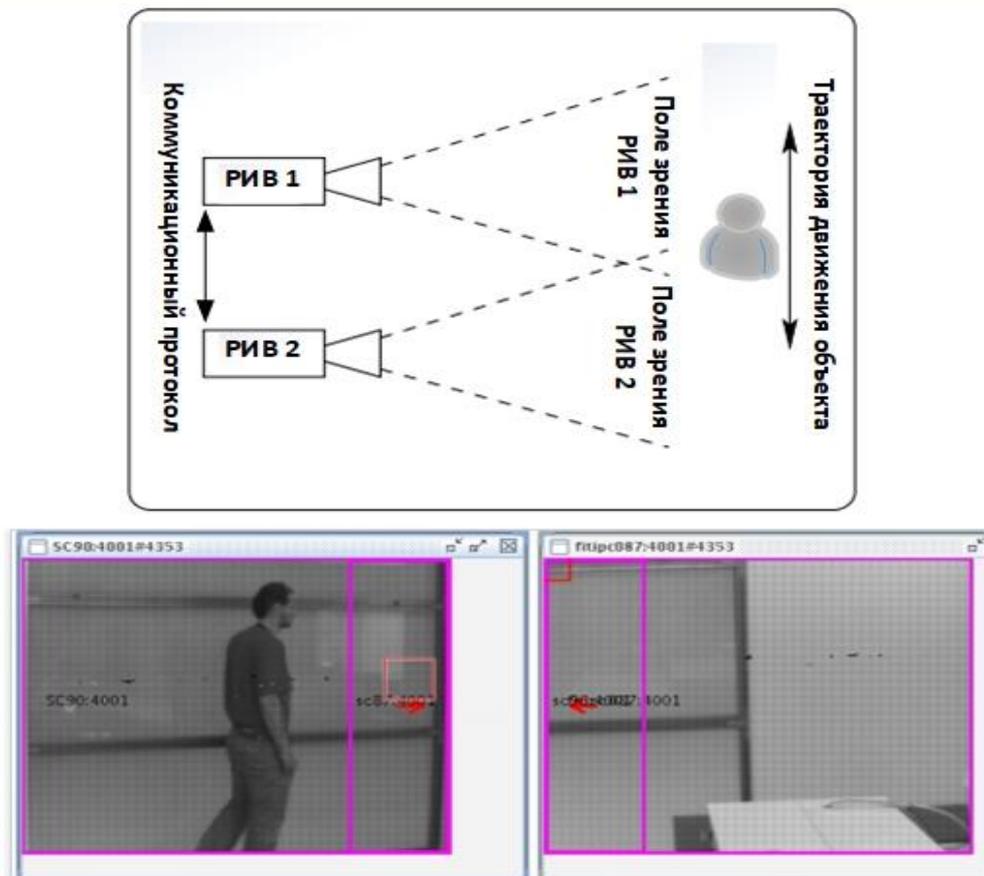


Рисунок 2 – Представление функции многокамерного сопровождения объекта в сети из двух РИВ

Figure 2 – Representation of the function of multi-camera tracking of an object in a network of two РИВ

В зависимости от типа РИВ указанные функции могут быть реализованы, как в рамках SoC общего назначения, так и в рамках специализированных платформ, на базе одной или нескольких мелкосерийных ПЛИС. В последнем случае взаимодействие функциональных компонентов РИВ осуществляется посредством стандартных шин

ввода-вывода, например, PCI. Структура многомодульного аппаратного обеспечения РИВ представлена на Рисунке 3.

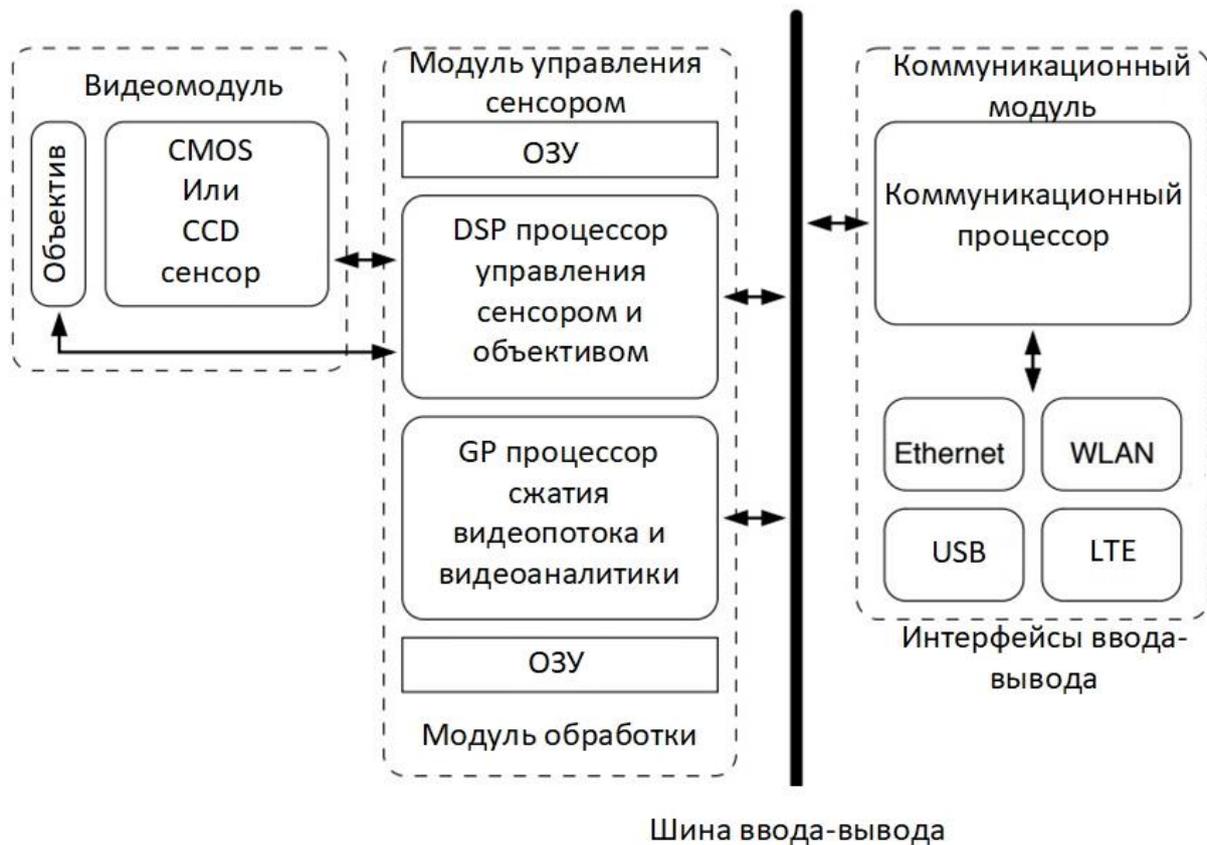


Рисунок 3 – Структурная схема аппаратного обеспечения РИВ на базе специализированных процессорных модулей

Figure 3 – Block diagram of the RIV hardware based on specialized processor modules

Исследование конкретных реализаций РИВ показало, что в большинстве проектов в качестве процессорных компонентов модуля управления сенсором видеокamеры используются распространенные FPGA решения, реализующие базовые функции цифровой обработки сигналов. В [14] рассматривается DSP-процессор на базе семейства Xilinx Spartan-II FPGA, обеспечивающего поддержку низкоуровневых функций обработки видеопотока как со CMOS, так и CCD сенсоров, а также обеспечивающие реализацию алгоритмов его сжатия. Специализированные функции видеоаналитики реализуются, в основном, на базе процессоров общего назначения (GP процессоров), таких, например, как Motorola PowerPC, используемых в решении, представленном в [15]. Этот RISC суперскалярный процессорный модуль поддерживает систему команд MIPS и обеспечивает поддержку программных решений с открытым исходным кодом на базе ядра операционной системы Linux.

В ряде случаев представленная на Ри

сунке 3 структура может быть реализована на базе одного вычислительного модуля общего назначения. Например, в [16] представлена реализация РИВ на базе процессорного модуля DM6446 семейства микропроцессоров TI DaVinci. Этот модуль содержит RISC-подсистему ARM926EJ-S, DSP-подсистему TMS320C64x+, а также специализированные модули DM6446 EVM/DVEVM/DB/WIFI/4C, обеспечивающие

реализацию коммуникационных интерфейсов, поддержку оперативной и Flash-памяти и интерфейсы взаимодействия в RISC- и DSP-подсистемами.

Очевидно, что многомодульная реализация аппаратного обеспечения РИВ требует реализации многоуровневого программного обеспечения, в рамках которого специализированные функции видеоаналитики, такие как многокамерное сопровождение, являются промежуточным уровнем (middleware).

### Архитектура программного обеспечения децентрализованного управления функцией многокамерного сопровождения подсистемы видеоаналитики системы видеонаблюдения

В [1, 3] рассматривается обобщенная структура программного обеспечения РИВ на базе решений с открытым исходным кодом, базирующихся на вариантах ядра Embedded Linux, поддерживающего системы команд ARM и MIPS. Вариант такой структуры программного обеспечения, рассматриваемого далее, представлен на Рисунке 4.

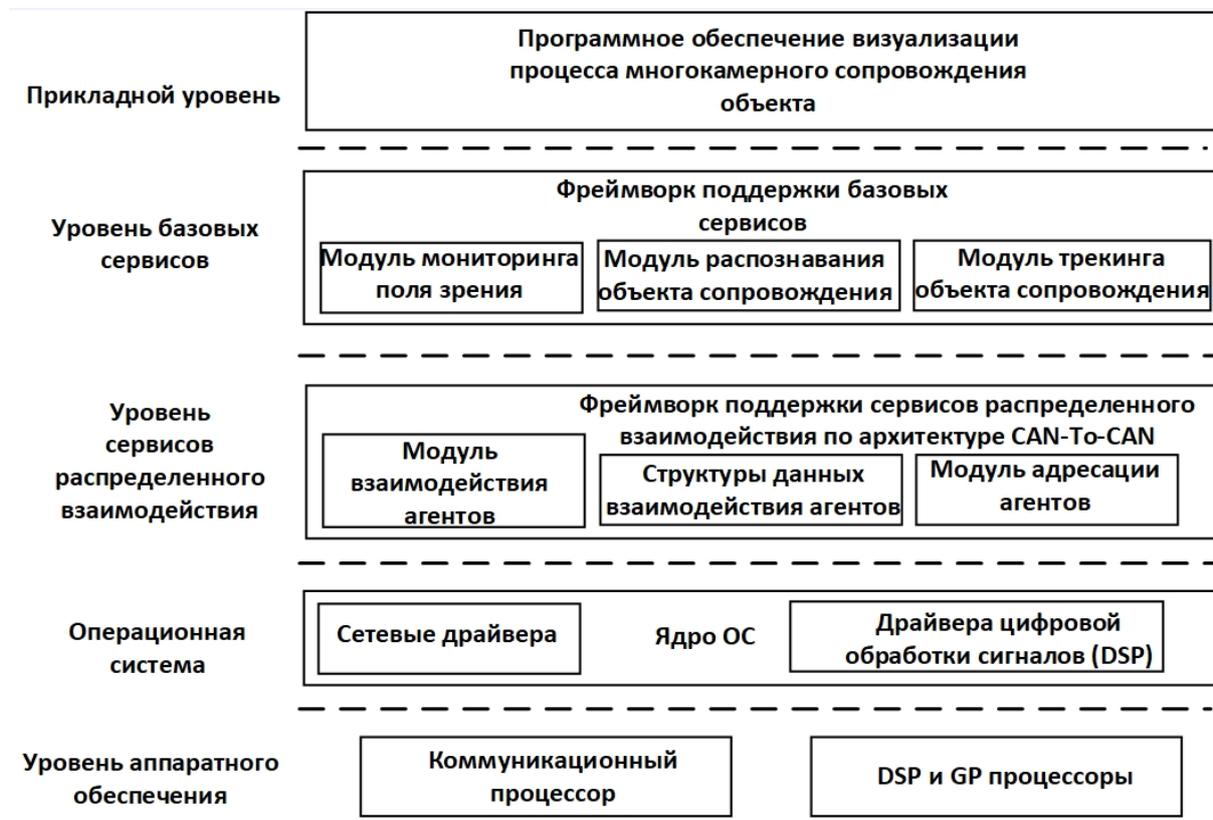


Рисунок 4 – Обобщенная многоуровневая структура программного обеспечения РИВ  
Figure 4 – Generalized multilevel structure of the RIV software

Из Рисунка 4 следует, что для реализации функций многокамерного сопровождения объектов, поддерживающих децентрализованное управление этим процессом, в состав программного обеспечения, наряду с системным уровнем (ядро ОС, базовые и специализированные драйверы), а также прикладным уровнем (функция визуализации трассы сопровождения объекта в пределах поля зрения одной РИВ) требуется введение промежуточных уровней программного обеспечения, реализующих:

- набор базовых сервисов видеоаналитики, таких, как мониторинг поля зрения РИВ, идентификация (распознавание) объекта сопровождения, сопровождение (трекинг) объекта в пределах поля зрения РИВ;

- набор сервисов, реализующих распределенное взаимодействие РИВ, на основе разработанных алгоритмов, представленных в [13]. В составе этих сервисов выделяются, как вычислительные структуры: модуль многоагентного взаимодействия в оверлейной P2P-сети на базе децентрализованной архитектуры CAN, модуль адресации агентов-соседей в указанной сети, так и информационные структуры поддерживающие протокол взаимодействия агентов-соседей, предназначенные для их идентификации, установления соответствий (mapping), а также обмена данными процесса многокамерного сопровождения [11, 12].

Как было рассмотрено в [11], согласно концепции оверлейной P2P-сети на базе децентрализованной архитектуры CAN, множество РИВ могут быть представлено многоагентной системой, в которой каждый узел (РИВ) является объектом-агентом (ОА), имеющим функции, связанные достижением локальной цели – сопровождением требуемого объекта, из имеющегося множества объектов, в пределах поля зрения ОА, и передача информации об этом объекте подмножеству ОА, при пересечении им границы поля зрения. При этом периметр зоны наблюдения всей оверлейной сети, представленной множеством ОА, разделен на зоны ответственности (AR – area of responsibility) этих ОА. Каждый ОА владеет информацией о собственном поле зрения (ПЗ), а также о подмножестве адресной информации и подмножестве зон ответственности ОА, являющихся его соседями (neighbour). Общий принцип реализации такой оверлейной P2P-сети представлен на Рисунке 5.

Из Рисунка 5 следует, что  $OA_n$ , сопровождающий в текущий момент времени требуемый объект, должен организовать взаимодействие с подмножеством ОА, являющихся его соседями, в зависимости от координат собственного ПЗ $_{OA_n}$ , являющихся точкой выхода объекта сопровождения за пределы ПЗ $_{OA_n}$ . При этом предполагается, что протокол присоединения каждого из ОА в состав оверлейной сети, основанный на случайном выборе точки в координатном пространстве оверлейной сети и разделении откликнувшимися ОА своих зон ответственности, уже реализован и оверлейная сеть сформирована. Следовательно, важным аспектом, требующим рассмотрения, является организация протокола обмена данными о трекинге объекта сопровождения, а также подходов к его программной и/или аппаратно-программной реализации в рамках структурной схемы, представленной на Рисунке 3.

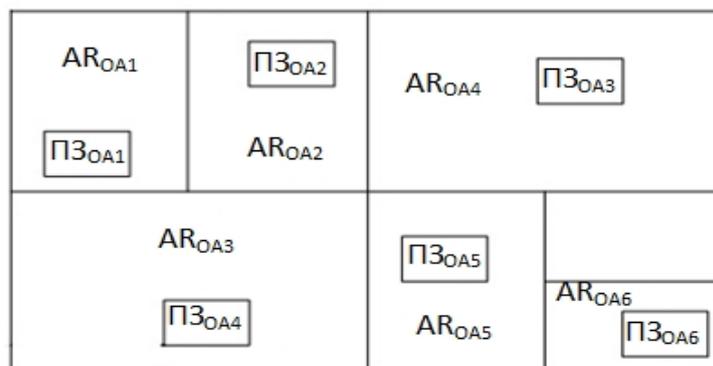


Рисунок 5 – Представление зон ответственности объектов-агентов оверлейной P2P-сети на базе децентрализованной архитектуры CAN

Figure 5 – Representation of areas of responsibility of agent objects of an overlay P2P network based on a decentralized CAN architecture

### **Архитектура CAN-to-CAN – аппаратно-программная реализация peer-to-peer сети видеокamer на базе децентрализованной архитектуры CAN (Content Addressable Network) с использованием протокола CAN (Controller Area Network)**

Как было рассмотрено в [17], децентрализованная архитектура CAN (Content Addressable Network) позволяет определить: логические объекты сети РИВ – объекты-агенты (ОА), правила их присоединения к сети РИВ, включая определение зон ответственности, а также правила (протокол) адресации, обеспечивающий формирование и распространение между ОА-соседями по зонам ответственности информации, связанной с сопровождением объекта. На основе такой архитектуры в [13] был предложен алгоритм линейной тактики РИВ, обеспечивающей процесс децентрализованного управления многокамерным сопровождением объекта.

Следует отметить, что представленные решения определяют протокол функционирования сети РИВ на прикладном, представительском и сеансовом уровнях модели ЭМ ВОС. В условиях, когда сеть РИВ функционирует поверх существующей транспортной инфраструктуры на базе стека протоколов TCP/IP (оверлейно), логической организации протокола взаимодействия множества ОА, использующей концепцию децентрализации CAN (Content Addressable Network), является достаточно. Однако, в условиях, отсутствия подобной инфраструктуры и организации физического и канального уровней ЭМ ВОС аппаратно-программными возможностями РИВ, требуется решить задачу выбора стека протоколов, обеспечивающих их взаимодействие по схеме «точка-точка».

Исследование конкретных реализаций подобных решений, позволило обоснованно выбрать протокол CAN (Controller Area Network), представленный в стандарте ISO 11898 [18]. Этот протокол объединяет физический и канальный уровни ЭМ ВОС, а также функции передачи блоков данных произвольного размера, подтверждение пересылки данных, распределение идентификаторов в рамках P2P-сети, запуск функционирования такой сети и функции супервизора ее узлов. Указанные функции определяют дополнительный уровень приложений (Application Layer) протокола CAN. В обобщенном виде многоуровневая архитектура протокола CAN представлена на Рисунке 6.



Рисунок 6 – Многоуровневая архитектура протокола CAN (стандарт 11898)  
Figure 6 – Layered architecture of the CAN protocol (standard 11898)

В общем случае уровень приложений определяет следующие методы:

- метод назначения идентификаторов сообщений;
- метод обмена данными;
- организацию взаимодействия «точка-точка» (P2P), так называемая прямая связь;
- метод установления связей для процесса обмена данными;
- метод сетевого управления

В рамках этих методов уровень приложений поддерживает модели и профили устройств сети на базе протокола CAN.

В зависимости от функционального предназначения сетей на базе протокола CAN существует несколько вариантов реализации уровня приложений. К наиболее известным относятся: CAL (CAN Application Layer), OSEK/VDX, SAE J1939, CANopen, DeviceNet, SDS (Smart Distribution Systems), CAN-Kingdom [19]. В качестве архитектурной основы предлагается использовать реализацию DeviceNet, протокольные блоки данных которой наиболее тождественным протокольным блокам данных стека протоколов TCP/IP.

Главной целью протокола CAN является передача данных между узлами распределенной системы. Вне зависимости от реализации эта функция осуществляется посредством передачи сообщений. В реализации DeviceNet они именуются I/O Messages.

Подтверждение приема данных узлами распределенной системы на базе протокола CAN реализовано тремя транспортными классами протокола, представленными на Рисунке 7. В частности, Транспортные классы 2 и 3 поддерживают опрос узлов системы. В рамках этих классов узлы поддерживают функции «ведущего» (master) и «ведомого» (slave). Master-узел содержит «объекты взаимодействия» (connection objects), поддерживающие функции опроса (request) для slave-узлов 2 и 3 транспортных классов. Slave-узел, в свою очередь, содержит «объекты взаимодействия» для master-узла 2 и 3 транспортных классов, поддерживающие функции получения команд опроса и передачи соответствующих данных отклика (response).

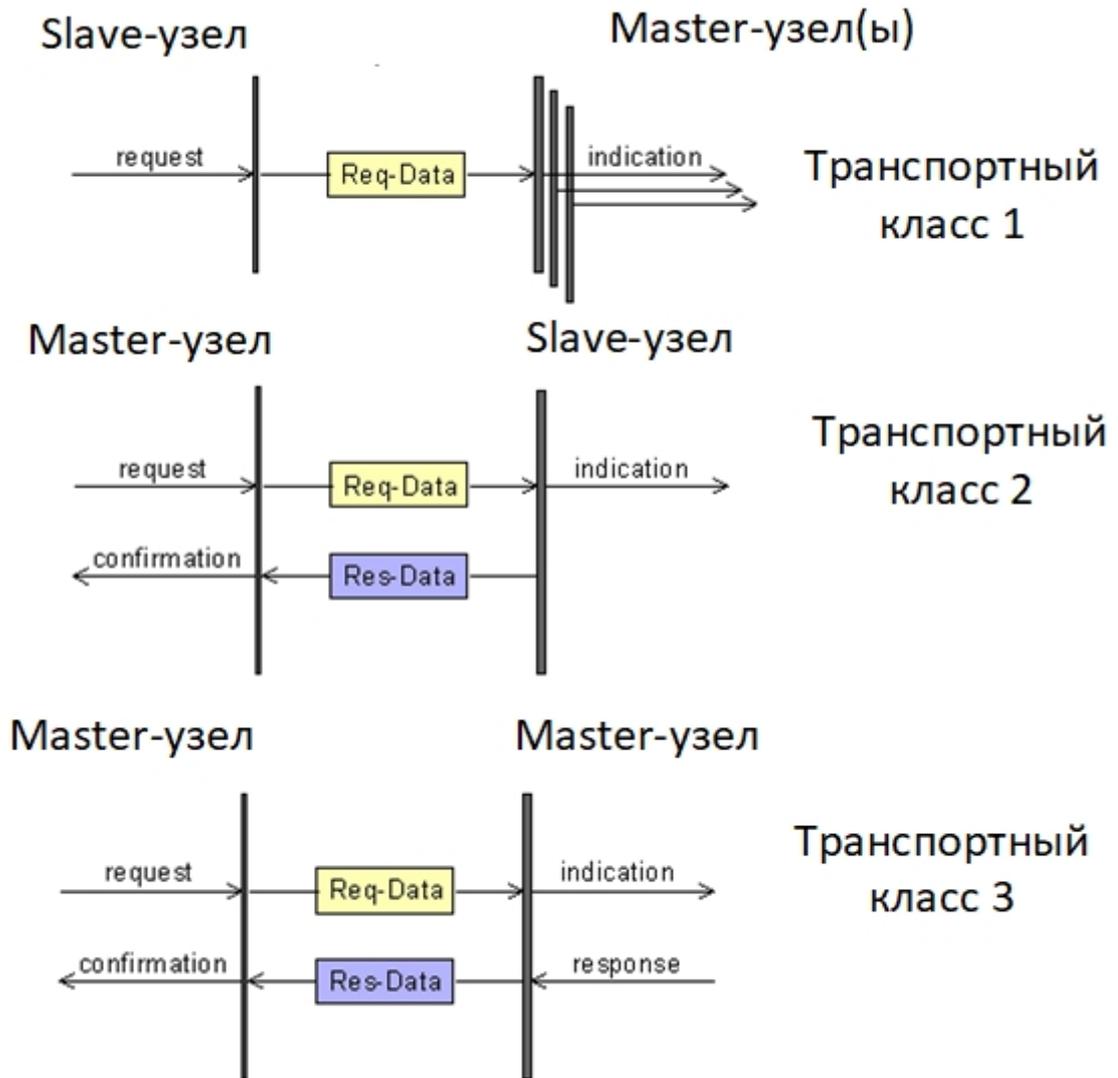


Рисунок 7 – Транспортные классы протокола CAN  
 Figure 7 – Transport classes of the CAN protocol

Примером аппаратной реализации контроллера, поддерживающего комбинированный вариант протокола CAN (версии CANOpen, DeviceNet и SDS) является PCI-плата CIFX 104C-RE-R Real-Time Ethernet Communication Card компании Hilscher [20] внешний вид которой представлен на Рисунке 8.

Таким образом, прикладное программное обеспечение уровня middleware, представленное на Рисунке 4 и реализующее уровень сервисов распределенного взаимодействия на основе peer-to-peer архитектуры CAN (Content Addressable Network) на уровне взаимодействия физических узлов сети – множества РИВ может быть реализовано на аппаратных платформах (контроллерах), поддерживающих протокол CAN (Controller Area Network) что позволяет вести речь о комбинированной CAN-to-CAN архитектуре сети РИВ, обеспечивающих функцию многокамерного сопровождения объектов.



Рисунок 8 – Внешний вид контроллера CIFX 104C-RE-R Real-Time Ethernet Communication Card

Figure 8 – External view of the CIFX 104C-RE-R Real-Time Ethernet Communication Card controller

### Выводы

В статье проведен анализ архитектурных решений проектирования аппаратно-программного обеспечения сети распределенных интеллектуальных видеокамер (РИВ), обеспечивающих функцию многокамерного сопровождения объектов на основе принципов децентрализованного управления. Представлена многоуровневая архитектура программного обеспечения РИВ, с выделенным уровнем промежуточного программного обеспечения, реализующего алгоритм линейной тактики РИВ в рамках peer-to-peer сети на основе архитектуры CAN (Content Addressable Network).

В качестве транспортной основы сети РИВ предложено использование промышленного протокола CAN (Controller Area Network), а также класса контроллеров, поддерживающих его реализацию DeviceNet.

Результатом является разработанная двухуровневая CAN-to-CAN (C2C) архитектура аппаратно-программного обеспечения сети РИВ. Указанные подходы могут быть использованы для разработки конкретных вариантов программного обеспечения узлов подсистемы видеоналиктики системы видеонаблюдения с децентрализованным управлением функцией многокамерного сопровождения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rinner B., Wolf W. An Introduction to Distributed Smart Cameras. *IEEE Xplore*. 2008;96(10):1565-1575.
2. Barthélemy J. et al. Edge-computing video analytics for real-time traffic monitoring in a smart city. *Sensors*. 2019;19(9):2048.
3. Quaritsch M., Kreuzthaler M., Rinner B., Bischof H., Strobl B. Autonomous Multi-Camera Tracking on Embedded Smart Cameras. *EURASIP Journal on Embedded Systems*. 2007;092827.

4. Rowe A., Goel D., Rajkumar R. FireFly Mosaic: A Vision-Enabled Wireless Sensor Networking System. *In Proc. of the 28th IEEE International RealTime Systems Symposium RTSS 2007*. D. Goel, Ed. 2007:459-468.
5. Hu P. MeshVision: an adaptive wireless mesh network video surveillance system *Multimedia systems*. 2010;16(4-5);243-254.
6. Fleck S., Loy R., Vollrath C., Walter F., Straßer W. SmartClassySurv – A Smart Camera Network for Distributed Tracking and Activity Recognition and its Application to Assisted Living. *In Proc. of the 1st ACM/IEEE Int. Conference on Distributed Smart Cameras ICDSC '07, Sept.* 2007:211-218.
7. Прохоров П. Обоснование структуры программного обеспечения «умной» камеры видеонаблюдения. *Математические структуры и моделирование*. 2015;3(35):81-90.
8. Зыков В.Н., Кашковский В.В. Исследование методов обнаружения объектов и построения траектории их движения в системах видеонаблюдения. *Студенческий*. 2017;8-1:20-24.
9. Wolf W., Ozer B., Lv T. Smart Cameras as Embedded Systems. *IEEE Computer*. 2002;35(9):48-53.
10. Лебеденко Е.В., Николаев Д.А. Моделирование процесса децентрализованного управления многокамерным сопровождением объектов в подсистеме видеоаналитики системы видеонаблюдения. *Системы управления и информационные технологии*. 2019;4:41-46.
11. Николаев Д.А., Лебеденко Е.В. К вопросу о моделировании систем с децентрализованным управлением при многокамерном сопровождении объектов слежения. *Информационные технологии моделирования и управления*. 2019;2(116):90-99.
12. Николаев Д.А., Лебеденко Е.В., Пимонов Р.В. Подходы к имитационному моделированию системы видеонаблюдения с децентрализованной структурой и подсистемой видеоаналитики, реализующей функцию многокамерного сопровождения объектов. *Системы управления и информационные технологии*. 2020;2:9-14.
13. Лебеденко Е.В., Николаев Д.А. Алгоритмы децентрализованного управления многокамерным сопровождением в телевизионных охранных системах. *XI Всероссийская межведомственная научная конференция «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления», Академия ФСО России*. 2018.
14. Dias F., Berry F., Serot J., Marmouton F. Hardware, Design and Implementation Issues on a Fpga-Based Smart Camera. *In Proc. of the 1st ACM/IEEE Int. Conference on Distributed Smart Cameras ICDSC '07, Sept.* 2007:20-26.
15. Smart cameras embed processor power. Доступно по: <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16738353/smart-cameras-embed-processor-power> (дата обращения 16.09.2020).
16. TMDSCSK388 DM38x Camera Starter Kit (CSK). Доступно по: <https://www.ti.com/tool/TMDSCSK388> (дата обращения 21.09.2020).
17. Ratnasamy S. A scalable content-addressable network. *ACM*. 2001;31(4):161-172.
18. ISO 11898-1:2015 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling. Доступно по: <https://www.iso.org/standard/63648.html> (дата обращения 15.10.2020).
19. Щербаков А. Протоколы прикладного уровня CAN-сетей. *Современные технологии автоматизации*. 1999;3:1-10.

20. PC card PCI-104 – PROFINET IO-Device. Доступно по: <https://www.hilscher.com/products/product-groups/pc-cards/pci-104/cifx-104c-re-rpns/> (дата обращения 19.10.2020).

## REFERENCES

1. Rinner B., Wolf W. An Introduction to Distributed Smart Cameras. *IEEE Xplore*. 2008;96(10):1565-1575.
2. Barthélemy J. et al. Edge-computing video analytics for real-time traffic monitoring in a smart city. *Sensors*. 2019;19(9):2048.
3. Quaritsch M., Kreuzthaler M., Rinner B., Bischof H., Strobl B. Autonomous Multi-Camera Tracking on Embedded Smart Cameras. *EURASIP Journal on Embedded Systems*. 2007;092827.
4. Rowe A., Goel D., Rajkumar R. FireFly Mosaic: A Vision-Enabled Wireless Sensor Networking System. In *Proc. of the 28th IEEE International RealTime Systems Symposium RTSS 2007*. D. Goel, Ed. 2007:459-468.
5. Hu P. MeshVision: an adaptive wireless mesh network video surveillance system *Multimedia systems*. 2010;16(4-5);243-254.
6. Fleck S., Loy R., Vollrath C., Walter F., Straßer W. SmartClassySurv – A Smart Camera Network for Distributed Tracking and Activity Recognition and its Application to Assisted Living. In *Proc. of the 1<sup>st</sup> ACM/IEEE Int. Conference on Distributed Smart Cameras ICDSC '07, Sept. 2007:211-218*.
7. Prohorov P. Obosnovanie struktury programmnoho obespecheniya «umnoj» kamery videonablyudeniya. *Mathematical structures and modeling*. 2015;3(35):81-90.
8. Zykov V.N., Kashkovskij V.V. Issledovanie metodov obnaruzheniya ob'ektov i postroeniya traektorii ih dvizheniya v sistemah videonablyudeniya. *Studencheskij*. 2017;8-1:20-24.
9. Wolf W., Ozer B., Lv T. Smart Cameras as Embedded Systems. *IEEE Computer*. 2002;35(9):48-53.
10. Lebedenko E.V., Nikolaev D.A. Modelirovanie processa decentralizovannogo upravleniya mnogokamernym soprovozhdeniem ob'ektov v podsisteme videoanalitiki sistemy videonablyudeniya. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*. 2019;4:41-46.
11. Nikolaev D.A., Lebedenko E.V. K voprosu o modelirovanii sistem s decentralizovannym upravleniem pri mnogokamernom soprovozhdenii ob'ektov slezheniya. *Informacionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya*. 2019;2(116):90-99.
12. Nikolaev D.A., Lebedenko E.V., Pimonov R.V. Podhody k imitacionnomu modelirovaniyu sistemy videonablyudeniya s decentralizovannoj strukturoj i podsistemoj videoanalitiki, realizuyushchej funkciyu mnogokamernogo soprovozhdeniya ob'ektov. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii*. 2020;2:9-14.
13. Lebedenko E.V., Nikolaev D.A. Algoritmy decentralizovannogo upravleniya mnogokamernym soprovozhdeniem v televizionnyh ohrannyh sistemah. *XI Vserossijskaya mezhvedomstvennaya nauchnaya konferenciya «Aktual'nye napravleniya razvitiya sistem ohrany, special'noj svyazi i informacii dlya nuzhd gosudarstvennogo upravleniya», Akademiya FSO Rossii*. 2018.
14. Dias F., Berry F., Serot J., Marmoiton F. Hardware, Design and Implementation Issues on a Fpga-Based Smart Camera. In *Proc. of the 1st ACM/IEEE Int. Conference on Distributed Smart Cameras ICDSC '07, Sept. 2007:20-26*.
15. Smart cameras embed processor power. Available at: <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16738353/smart-cameras-embed-processor-power> (accessed 16.09.2020).

16. TMDSCSK388 DM38x Camera Starter Kit (CSK). Available at: <https://www.ti.com/tool/TMDSCSK388> (accessed 21.09.2020).
17. Ratnasamy S. A scalable content-addressable network. *ACM*. 2001;31(4):161-172.
18. ISO 11898-1:2015 Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling. Available at: <https://www.iso.org/standard/63648.html> (accessed 15.10.2020).
19. Shcherbakov A. Protokoly prikladnogo urovnya CAN-setej. *Contemporary Technologies in Automation*. 1999;3:1-10.
20. PC card PCI-104 – PROFINET IO-Device. Available at: <https://www.hilscher.com/products/product-groups/pc-cards/pci-104/cifx-104c-re-rpns/> (accessed 19.10.2020).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATIONS ABOUT AUTHORS

**Николаев Дмитрий Александрович, Dmitriy A. Nikolaev**, Employee Of The сотрудник кафедры информатики и Department Of Informatics And Computer вычислительной техники, ФКОУ ВПО Engineering, Russian Federation Security Академия ФСО России, Орел, Российская Guard Service Federal Academy, Orel, Федерация Russian Federation  
*e-mail:* [lebedenko\\_eugene@mail.ru](mailto:lebedenko_eugene@mail.ru)