

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ КАПСУЛЬНОЙ ЭНДОСКОПИИ

СЕРГЕЙ ШУМИЛИН, АО «ПКК Миландр»

В статье рассматриваются основные аспекты процесса и результаты разработки отечественной эндокапсулы. Разработка осуществлялась в компании АО «ПКК Миландр» по заказу ОАО НИИ «Компонент».

Капсульная эндоскопия – современный метод диагностики желудочно-кишечного тракта. Основу метода составляет специальная эндоскопическая капсула – капсульный эндоскоп из оболочки, миниатюрной цифровой видеокамеры, устройства предварительной обработки, хранения и передачи видеоинформации и элементов питания. Благодаря миниатюрным размерам капсул эндоскопия с их помощью может проводиться даже у детей. Капсула проглатывается пациентом и за время естественного прохождения по желудочно-кишечному тракту осуществляет съемку. Полученные результаты затем анализируются врачом-специалистом для определения диагноза. На капсулу накладывается ряд серьезных ограничений: габаритные размеры, время активной работы, объем обрабатываемой видеоинформации и многое другое. Эндокапсула представляет собой сложное высокотехнологическое устройство, которое выпускают многие иностранные компании.

Капсульная эндоскопия получила широкое распространение благодаря значительно более щадящей, с точки зрения пациента, процедуре диагностики. Обычно пациенты соглашались на традиционные методы эндоскопической диагностики, когда наличие проблем уже очевидно, тем самым упуская момент начала заболевания. Капсульная эндоскопия позволяет проводить диагностику заболеваний ЖКТ во время периодической или плановой диспансеризации. Но при этом существенным ограничением в распространении капсульной эндоскопии является высокая стоимость проведения процедуры. Цена



Рис. 1. Передача информации с эндокапсулы на внешний накопитель во время процедуры



Рис. 2. Накопление информации в эндокапсуле с ее последующим считыванием после окончания процедуры

представленного на рынке полного комплекта оборудования для капсульной эндоскопии превышает 1 млн руб. Стоимость существующих одноразовых капсул начинается с 10 тыс. руб. Стоимость процедуры для пациента варьируется в пределах 25–80 тыс. рублей. Основной целью разработки нового отечественного аналога было снижение стоимости не только самой капсулы, но и стоимости оборудования для проведения анализа и как следствие, снижение стоимости процедуры до уровня стоимости традиционного эндоскопического исследования.

В настоящее время на рынке существует несколько эндокапсульных решений, в большинстве своем, импортного производства или с небольшой степенью отечественной локализации. Наиболее распространенные решения основаны на принципе прямой передачи видеоизображения по радиоканалу с капсулы на внешний накопитель, который пациенту необходимо носить с собой на протяжении всей процедуры. Принцип работы капсулы показан на рисунке 1.

После окончания процедуры внешний накопитель передается врачу-специалисту для проведения анализа, а сама эндокапсула выходит из организма естественным путем и утилизируется. Основным недостатком метода является необходимость постоянного в течение длительного времени (до 12 ч) ношения закрепленного на теле специализированного накопителя. Это приводит к росту стоимости процедуры и усложняет ее проведение у детей или у людей с электрокардиостимуляторами. В другом методе видеoinформация накапливается в энергонезависимой памяти, встроенной в капсулу. Считывание информации с капсулы производится после ее естественного вывода из организма. Принцип работы показан на рисунке 2.

Пациент в ходе процедуры полностью мобилен и не меняет своего распо-

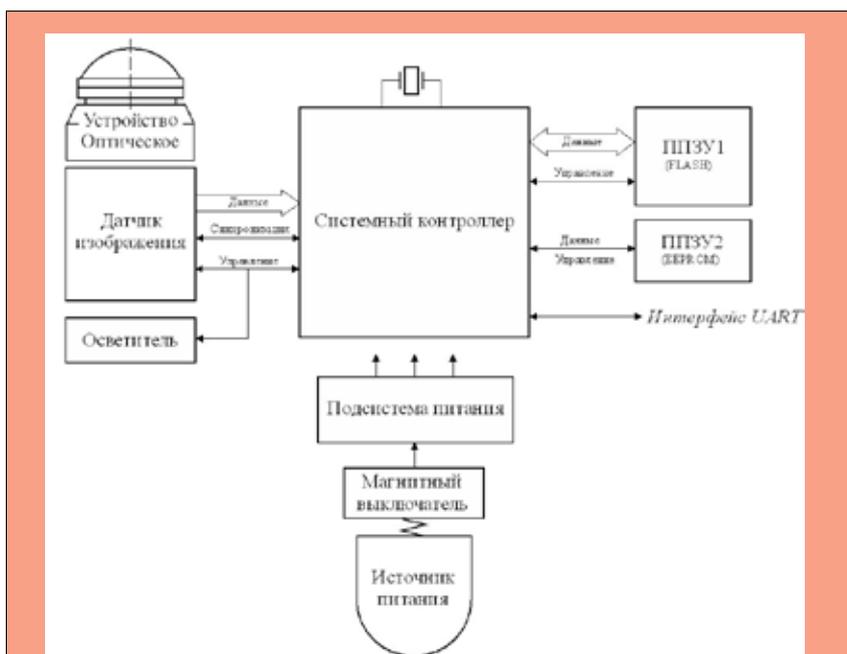


Рис. 3. Структурная схема эндокапсулы разработки АО «ПКК Миландр»

Оптическое – оптическое

рядка дня, может покинуть медицинское учреждение и вести обычный образ жизни. Данный метод имеет наименьшую стоимость, поскольку не требует в ходе проведения процедуры какого-либо дополнительного оборудования. Возможная утеря капсулы нивелируется ее малой стоимостью. В результате именно этот метод был выбран для реализации капсулы в рамках данной работы. Электрическая схема капсулы представлена на рисунке 3.

Капсула представляет собой встраиваемую систему, созданную на основе высокопроизводительной энергоэффективной программно-аппаратной вычислительной платформы с процессорным ядром и минимально необходимым набором периферийных устройств. Требуемая функциональность реализована, преимущественно, программно. Захваченные датчиком цветные изображения передаются в системную память, где анализируются и, при необходимости, обрабатываются (сжимаются) вычислителем системного контроллера. Сжатые изображения последовательно сохраняются в энергонезависимой памяти (ППЗУ1) с аппаратным контролем и коррекцией ошибок. Для экономии объема энергонезависимой памяти и энергии источника питания для получаемых датчиком изображений проводится «анализ движения», исключая из обработки и сохранения избыточные (имеющие высокие значения по критерию схожести) изображения. Системный контроллер при включении питания получает программный код и настройки для работы из внешней энергонезависимой памяти с последовательным интерфейсом (ППЗУ2). Включение капсулы происходит непосредственно перед началом процедуры с помощью магнитного выключателя. Все питающие напряжения для элементов формируются с помощью встроенной

рядка дня, может покинуть медицинское учреждение и вести обычный образ жизни. Данный метод имеет наименьшую стоимость, поскольку не требует в ходе проведения процедуры какого-либо дополнительного оборудования. Возможная утеря капсулы нивелируется ее малой стоимостью. В результате именно этот метод был выбран для реализации капсулы в рамках данной работы. Электрическая схема капсулы представлена на рисунке 3.

Таблица. Характеристики эндокапсул различных производителей

Название	ФАКТУРА-П (техническое)	MiroCam	EC1	PillCam SB2	OMOM Capsule
Фирма	Миландр	IntroMedic	Olympus	Given Imaging	Jinshan Science Technology
Страна	Россия	Ю. Корея	Япония	Израиль	Китай
Разрешающая способность сенсора, пикс.	400×400	320×320	256×256	256×256	256×256
Размер, Ø/длина, мм	11/27	11/24	11/26	11/26	13/28
Вес, г	4,5	3,2	3,8	3,45	6
Угол обзора, °	140	170	145	156	140
Кол-во кадров/с	5	3	2	2	2
Время автономной работы, ч	8	12	8	8	9
Накопитель	Встроенный, 512 Мбайт	Внешний	Внешний	Внешний	Внешний
Время снятия данных, мин	70	45	45	45	–

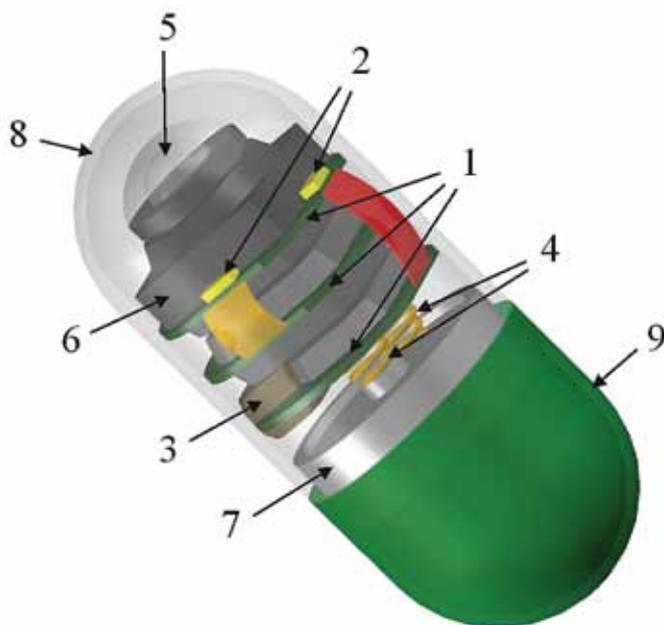


Рис. 4. Вид эндочапулы: 1 – печатная плата с компонентами; 2 – светодиоды подсветки; 3 – магнитный выключатель; 4 – пружинные контакты к элементу питания; 5 – объектив; 6 – держатель объектива; 7 – элемент питания; 8 – прозрачный корпус; 9 – колпачок

подсистемы питания, обеспечивающей нормальное функционирование капсулы вплоть до полного разряда элемента питания. Для безопасного завершения работы системный контроллер отслеживает остаточный заряд на элементе питания, и при разряде ниже заданного уровня корректно завершает сбор информации и выключает капсулу. Вид эндочапулы представлен на рисунке 4.

В ходе разработки были получены данные по энергозатратам основных узлов, датчика изображения, энергонезависимой памяти и элементов освещения. Кроме того, были проанализированы существующие и уже мас-

сово выпускаемые микроконтроллеры, обладающие достаточным функционалом для реализации системного контроллера капсулы. Для решения задачи по обработке потока видеoinформации у существующих малопотребляющих микроконтроллеров не хватает производительности, а высокопроизводительные МК превышают лимит уровня энергопотребления. В результате для создания капсулы было принято решение о разработке специализированного 32-разрядного микроконтроллера для построения капсулы. Основным требованием к микросхеме МК было ограничение по току потребления на уровне

не более 0,1 мА/МГц с максимальной тактовой частотой до 75 МГц. В ходе разработки микроконтроллера применялись разные методы, позволяющие уменьшить потребление схемы. Для создания конкретного алгоритма были получены профили токов потребления на разных этапах работы всего устройства. В результате была получена микросхема для изготовления по технологии 90 нм на фабрике TSMC. Фотография кристалла разработанной микросхемы представлена на рисунке 5.

Размер кристалла специализированного микроконтроллера составил 2,6×2,9 мм. Кристалл упакован в корпус QFN-48. На базе полученной микросхемы были получены экспериментальные образцы эндоскопических капсул. Для считывания информации с капсулы был разработан специальный считыватель, передающий всю накопленную информацию в ПК. Для полученных образцов были проведены предварительные испытания, которые показали полное соответствие всем техническим требованиям.

Функциональные характеристики разработанной в АО «ПКК Миландр» эндочапулы представлены в таблице в сравнении с аналогами.

Полученные экспериментальные образцы эндочапулы переданы заказчику для проведения полного комплекса испытаний и сертификации. Заказчик осуществляет разработку автоматизированного рабочего места врача, где с помощью специального программного обеспечения обеспечивается автоматический экспресс-анализ полученных результатов и более детальный ручной режим просмотра результатов для более точной диагностики. ➡

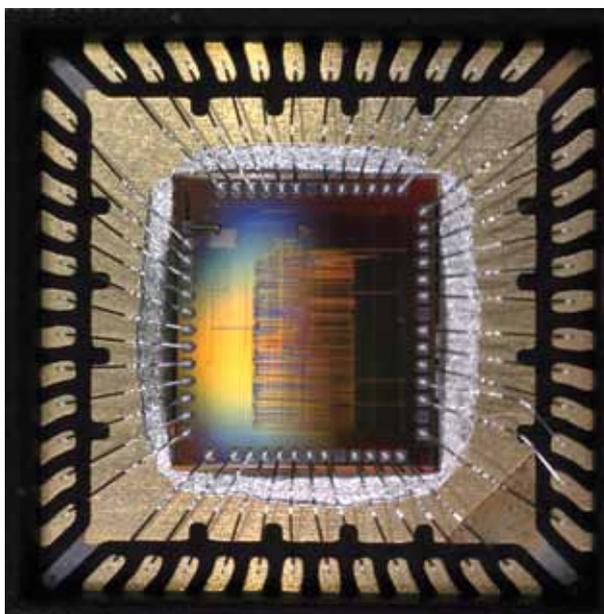


Рис. 5. Кристалл специализированного микроконтроллера для эндочапулы в корпусе QFN-48