

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Раздел II. Холодильник с глазами и памятью

Нейроморфная архитектура событийного зрения, тепловой и механической памяти продукта

Второй архитектурный контур переводит холодильник от управления пустой камерой к управлению жизнью конкретных продуктов. Машина должна видеть каждое изменение, помнить тепловую и механическую историю объекта и рассчитывать не формальный, а реальный остаточный срок его безопасного и полезного хранения.



Основной тезис

Холодильнику не нужен непрерывный фильм о происходящем. Ему необходимо фиксировать события: какой продукт появился, исчез, был вскрыт, нагрет, охлаждён, перемещён или подвергнут механическому воздействию.

Статус документа: архитектурная постановка задачи и основание для разработки прототипа.

Дата: 18 июня 2026 года

1. Исходный переход: от температуры камеры к состоянию продукта

Классический холодильник управляет усреднённым параметром - температурой воздуха в одном или нескольких контрольных местах. Однако одинаковая температура камеры не означает одинакового состояния всех находящихся в ней объектов. Продукты различаются составом, массой, упаковкой, тепловой инерцией, чувствительностью к влажности, ударам, вибрациям и времени пребывания вне холода.

Поэтому предлагается изменить объект управления. Основной единицей системы становится не камера холодильника, а конкретный продукт, упаковка, лоток, короб или партия. Для каждой такой единицы холодильник формирует собственную память, оценивает её состояние и принимает решение о наиболее подходящем режиме хранения.

Новая целевая функция

Не просто удерживать заданные +4 °C, а максимально продлевать безопасную и полезную жизнь каждого продукта при минимальном расходе энергии и минимальном физическом воздействии на него.

2. Холодильник получает глаза

Главным сенсорным органом предлагается сделать внешнюю камеру, установленную над дверью, сбоку от проёма либо непосредственно в зоне входа в холодильную камеру. Она наблюдает не внутреннее пространство как статическую сцену, а операции, совершаемые с продуктами.

Внешняя камера должна распознавать следующие классы событий:

- продукт внесён в холодильник или вынут из него;
- упаковка была вскрыта, частично использована или возвращена;
- объект заменён другим контейнером или разделён на несколько частей;
- продукт находился вне охлаждаемого объёма определённое время;
- произошёл удар, падение, интенсивное встряхивание или иное нештатное действие;
- операция распознана не полностью и требует уточнения.

Преимущество внешней камеры состоит в том, что она видит сам процесс и направление движения объекта. Внутренняя камера видит итоговое размещение, но часто хуже понимает, каким действием оно было создано. Поэтому внешнее наблюдение целесообразно сделать основным, а внутреннее - контрольным и периодическим.

3. Почему алгоритм должен быть событийным и нейроморфным

Непрерывный видеоряд создаёт огромный массив повторяющейся информации: большую часть времени дверь закрыта, сцена не меняется, а полноценные кадры продолжают поступать. Для холодильника такая модель избыточна. Ему важны не кадры сами по себе, а изменение физического состояния системы.

Нейроморфный контур строится по принципу: пока изменений нет - система почти молчит; при возникновении события - резко повышает чувствительность и вычислительную активность.

Такой подход позволяет:

- быстро фиксировать движение и пересечение границы холодильника;
- сокращать объём данных и энергопотребление сенсорного узла;
- локально обрабатывать операции без постоянной передачи видеопотока в облако;
- лучше защищать приватность человека;
- связывать визуальное событие с температурным, весовым и вибрационным откликом.

Практическая реализация может быть гибридной. Событийный сенсор обнаруживает изменение; затем на короткое время активируются RGB-камера, инфракрасный канал, подсветка, считывание маркировки и дополнительные датчики. После завершения операции система снова возвращается в низкоактивный режим.

4. Тепловое зрение и расчёт температурной истории

Видимый диапазон отвечает на вопрос «что это за объект и что с ним сделали». Инфракрасный диапазон отвечает на другой вопрос - «в каком тепловом состоянии объект поступил и как это состояние меняется».

Тепловизионный канал может фиксировать:

- поверхностную температуру упаковки или открытого продукта;
- неоднородность нагрева и локальные тёплые зоны;
- признаки частичного размораживания или перегрева;
- различия между внешне одинаковыми упаковками;
- скорость охлаждения после помещения внутрь;
- температурное воздействие при открытой двери или нарушении режима.

При этом измерение поверхности не следует автоматически считать температурой ядра продукта. Внутреннее состояние необходимо оценивать моделью теплопередачи с учётом массы, геометрии, упаковки, состава, начальной температуры и воздушного потока. Поэтому в цифровом паспорте должны храниться отдельно измеренная температура поверхности, вычисленная температура внутренних слоёв и уровень доверия к оценке.

Рекомендуемый сенсорный комплект

Канал	Что фиксирует	Роль в решении
Событийная камера	движение, направление, изменение сцены	запуск короткого сенсорного эпизода
RGB-камера	форма, этикетка, маркировка, состояние упаковки	идентификация объекта и операции
ИК-камера	температура поверхности и её распределение	оценка тепловой истории
Вес/давление полок	масса и изменение количества	проверка инвентарной памяти
Акселерометры	удары, вибрации, резонансы	механическая история продукта

5. Память каждого продукта: динамический цифровой паспорт

После распознавания операции система создаёт новую карточку продукта либо изменяет уже существующую. Эта карточка должна хранить не только идентификатор и календарную дату, но и последовательность физических событий, определяющих фактическое состояние объекта.

Структура цифрового паспорта

Раздел паспорта	Содержание
Идентичность	категория, наименование, производитель, партия, штрихкод/Data Matrix, тип и состояние упаковки
Время	дата производства, поступление, вскрытие, последнее перемещение, суммарное время вне холода
Тепловая история	измеренные поверхности, расчёт температуры ядра, скорость охлаждения, температурная доза
Среда хранения	зона, влажность, воздушный поток, соседство с другими продуктами, частота открытия двери
Механическая история	удары, амплитуда и частоты вибраций, длительность воздействия, резонансы полки
Состояние и количество	целостность, вскрытие, приблизительная масса, остаток содержимого
Прогноз	остаточный срок хранения, уровень риска, рекомендуемая зона и приоритет использования
Доверие	вероятность правильной идентификации и полноты памяти о событиях

Номинальный и динамический срок

В системе одновременно существуют два срока. Номинальный срок указан производителем при предполагаемом соблюдении заданных условий. Динамический остаточный срок рассчитывается на основе фактической истории конкретного объекта. Он может быть меньше номинального после перегрева, размораживания, повреждения или вскрытия; в отдельных случаях он может подтверждать хорошее состояние продукта до конца установленного периода.

Важная граница

Динамическая оценка не должна самовольно отменять обязательную маркировку производителя или санитарные ограничения. На первом этапе она служит инструментом ранжирования риска, FEFO, уценки, контроля качества и предотвращения потерь.

6. Распознавание продукта и срока годности

Надёжная идентификация должна строиться как каскад источников, а не как один алгоритм распознавания изображения. Чем выше юридическая и санитарная значимость решения, тем больше независимых подтверждений необходимо использовать.

1	Цифровой идентификатор Data Matrix, RFID, штрихкод, складской или кассовый идентификатор дают наиболее устойчивую связь с товарной базой.
2	Текст и маркировка OCR считывает дату, партию и специальные условия хранения. Результат должен сопровождаться оценкой качества изображения и уверенности.
3	Визуальная классификация Форма упаковки, цвет, логотип, размер и внешний вид позволяют восстановить объект при неполной маркировке.
4	Физическая сверка Вес полки, количество упаковок, кассовая операция и история предыдущих событий подтверждают либо опровергают визуальный вывод.
5	Человек в контуре При низком доверии система просит короткое подтверждение вместо того, чтобы превращать вероятностную догадку в факт.

7. Вибрационная память продукта

Механические воздействия обычно рассматриваются как проблема оборудования или транспортировки. В предлагаемой архитектуре они становятся частью истории конкретного продукта. Вибрация может вызывать микрповреждения, перемещение, контакт упаковок, разрушение структуры, вспенивание, оседание, дребезг и ускоренное ухудшение качества. Эффект зависит от продукта, упаковки, амплитуды, частоты и продолжительности воздействия.

Для каждого продукта или партии может рассчитываться механическая доза, включающая:

- амплитуду ускорений и число ударных событий;
- частотный спектр и длительность колебаний;
- наличие резонанса полки, контейнера или упаковки;
- положение относительно компрессора, вентилятора и конструкций здания;
- изменение механического режима после перестановки или ремонта.

Целью не обязательно является абсолютное отсутствие движения. Для отдельных продуктов и процессов допустим или даже необходим определённый режим перемешивания. Поэтому система должна знать профиль чувствительности продукта и поддерживать не «ноль вибраций», а оптимальную механическую среду.

Связь с первым разделом

Холодильник снижает собственные шум и вибрации не только ради покоя человека. Он делает

это также ради сохранности продукта, превращая акустико-вибрационный контроль в элемент cold chain и food quality.

8. Полный событийный алгоритм

Работа системы организуется как последовательность коротких сенсорных и вычислительных эпизодов. Каждый эпизод должен завершаться обновлением памяти и, при необходимости, физическим управляющим действием.

1	Открытие двери Событийный сенсор фиксирует изменение сцены и активирует остальные каналы.
2	Пересечение границы Определяются объект, направление движения и связь с рукой, тележкой, лотком или коробом.
3	Идентификация Считываются маркировка, тип, партия, срок и состояние упаковки.
4	Физическая оценка ИК-канал измеряет поверхность; акселерометры и весовые датчики фиксируют удар, массу и вибрацию.
5	Обновление памяти Создаётся новая карточка или корректируется история существующего продукта.
6	Прогноз Модель оценивает внутреннюю температуру, динамический срок, риск и оптимальную зону.
7	Решение Система меняет воздушный поток, температуру зоны, режим компрессора либо выдаёт рекомендацию.
8	Подтверждение Проверяется фактический результат: продукт охлаждается с ожидаемой скоростью, инвентарь совпадает, память сохраняет доверие.

Пример машинного вывода

Событийная запись

«В 18:42 внесена упаковка охлаждённой рыбы, идентификация 97%. Температура поверхности +8,1 °C, расчётная температура ядра +6,4...+7,2 °C. Суммарное время вне холода неизвестно; доверие к сроку среднее. Рекомендуются зона ускоренного охлаждения и использование раньше двух аналогичных упаковок».

9. Внешняя камера и доверие к памяти

Внешняя камера лучше всего видит операции, но после закрытия двери вынуждена опираться на собственную память. Ошибка может возникнуть при перекрытии объектов, одновременном внесении нескольких упаковок, ручной перестановке внутри камеры или неполном считывании маркировки.

Поэтому каждая карточка и общий инвентарь должны иметь показатель доверия. При его снижении холодильник не продолжает уверенно оперировать ошибочной картиной, а инициирует сверку.

Пример уровней доверия

Уровень	Состояние памяти	Действие
Высокий	операция полностью распознана и подтверждена весом/маркировкой	работа без вмешательства
Средний	частичное перекрытие или неполная дата	сохранение вероятностной карточки и мягкое уточнение
Низкий	число объектов или направление не подтверждены	контрольный внутренний снимок, весовая сверка либо вопрос человеку
Критический	инвентарь противоречит физическим датчикам	полная переинвентаризация зоны

Внутренняя камера в этой архитектуре остаётся полезной, но не обязана вести постоянное наблюдение. Она может включаться только для контрольной инвентаризации, проверки размещения, анализа воздушных зон и восстановления доверия к памяти.

10. Три масштаба применения

Бытовой холодильник	Магазин / ресторан	Промышленная cold chain
знает остатки; напоминает о вскрытых продуктах; предлагает использовать сначала наиболее уязвимые; снижает бытовые потери;	контролирует выкладку и загрузку; поддерживает динамический FEFO; помогает уценке; подтверждает условия хранения;	ведёт партии, коробка и палеты; связывает склад, транспорт и производство; сохраняет тепловую и механическую историю цепочки.

11. Архитектурный результат и программа прототипирования

Второй раздел формирует новый класс холодильной системы: машина не только создаёт холод, но наблюдает переходы продуктов между состояниями, строит память и управляет остаточным ресурсом качества. В совокупности с первым разделом возникает единая платформа, где нейроморфный интеллект одновременно понимает физику машины и судьбу продукта.

Минимальный прототип

- внешняя событийная или обычная камера с событийным программным режимом;
- RGB-кадрирование по событию и распознавание маркировки;
- компактная ИК-матрица в зоне пересечения двери;
- акселерометр на корпусе и одной контрольной полке;
- весовой датчик контрольной зоны;
- локальный вычислительный узел и база цифровых паспортов;
- интерфейс подтверждения спорных событий человеком.

Этапы проверки гипотезы

1	Событийная точность насколько надёжно фиксируются вход, выход, вскрытие и возврат продукта;
2	Тепловая модель насколько точно поверхность и история позволяют оценивать внутреннее состояние;
3	Механическая модель какие частоты и амплитуды действительно влияют на разные группы продуктов;
4	Остаточный срок можно ли предсказывать относительный приоритет использования без нарушения обязательных нормативов;
5	Экономический эффект снижение списаний, потерь, энергозатрат и ошибок персонала;
6	Приватность и доверие достаточно ли локальной обработки и событийных записей без хранения постоянного видео.

Итоговая формула / источник концепции: АА

Холодильник должен видеть не содержимое камеры как фотографию, а изменения судьбы каждого продукта. Его память должна соединять идентичность, время, температуру, вибрации и действия человека в единый динамический паспорт хранения. Рабочая архитектура требует экспериментальной, санитарной, метрологической и экономической валидации.