

УДК 004.357 + 004.383 + 004.896

**Р.Л. Варзар, А.Я. Аноприенко**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра компьютерной инженерии

## **АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА СЕНСОРНОГО МОДУЛЯ СУПЕРСЕНСОРНОГО КОМПЬЮТЕРА И ЕГО ПАРАМЕТРЫ**

### **Аннотация**

**Варзар Р.Л., Аноприенко А.Я. Аппаратная архитектура сенсорного модуля суперсенсорного компьютера и его параметры.** Приведена классификация датчиков, применяемых в электронных измерительных приборах, и описаны их основные характеристики. Выполнено сравнение описанных датчиков. Выбран набор датчиков, которые могли бы быть потенциально применены в суперсенсорном компьютере. На основе полученной и проанализированной информации разработана структурная схема сенсорного модуля суперсенсорного компьютера и приведены его основные характеристики.

**Ключевые слова:** датчик, сенсор, аналогово-цифровой преобразователь, суперсенсорный компьютер, интеллектуальная сенсорная сеть, комплексный индекс.

**Постановка проблемы.** Сегодня одной из важнейших проблем современного мира является загрязнение окружающей среды. К основным загрязняющим факторам можно отнести химическое, биологическое загрязнение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение, вибрации и шумы, влияние на погоду и климат. Таким образом, возникает необходимость разработать и создать систему, измеряющую интенсивность этих факторов с последующим анализом и прогнозированием дальнейшего их влияния на человека, окружающую среду и планету в целом. Для реализации этой задачи необходимо выполнить следующие этапы:

- создание суперсенсорного компьютера;
- разработка интеллектуальной суперсенсорной сети;
- создание программного обеспечения для анализа и прогнозирования данных.

В данном докладе описана разработка сенсорного модуля, что можно рассматривать в качестве начального этапа реализации суперсенсорного компьютера.

**Целью данного доклада** является обобщение выполненного анализа существующих сенсорных технологий и характеристик сенсоров (датчиков),

на базе чего предлагается архитектура и обосновываются основные параметры сенсорного модуля суперсенсорного компьютера.

**Новизна** реализации предложенного сенсорного модуля заключается в его уникальных параметрах, сочетающих в себе нестандартный набор датчиков для комплексного измерения различных физических величин.

### **Основные понятия и терминология доклада**

**Датчик или сенсор** – электронное устройство, предназначенное для обнаружения или измерения физических величин и преобразования их в электронный сигнал.

**Сенсорная сеть** – это распределенная самоконфигурируемая беспроводная сеть, состоящая из малогабаритных интеллектуальных сенсорных устройств.

Автором разрабатывается архитектура сети, получившая название – **интеллектуальная суперсенсорная компьютерная сеть**. Она сможет объединить в себе огромное количество так называемых **суперсенсорных компьютеров**, что позволит решить следующие задачи:

1. накопление и сохранение информации, получаемой с портативных суперсенсорных компьютеров;
2. анализ накопленных данных, поиск корреляций между ними;
3. визуализации полученной информации с применением геоинформационных технологий;
4. прогноз дальнейшего изменения измеряемых параметров и их влияние на окружающую среду;
5. формирование выводов о пригодности окружающей среды для здоровья человека и биосферы.

**Суперсенсорный компьютер** – это интеллектуальное сенсорное устройство, включающее в себя большое количество миниатюрных датчиков, микропроцессор, память и средства связи.

**Интеллектуальность** суперсенсорного компьютера заключается в наличии запрограммированных в микропроцессоре специальных алгоритмов анализа измеряемых параметров.

### **Классификация реализуемых датчиков**

Существует два способа классифицировать датчики: первый основан на принципах, по которым они функционируют, второй – на функциях, которые они выполняют.

Все датчики, планируемые к реализации в сенсорном модуле, можно разделить на две категории:

- **пассивные:** не нуждаются в дополнительном источнике энергии и в ответ на изменение внешнего воздействия на их выходе всегда появляется электрический сигнал;

▪ **активные:** для своей работы требуют внешней энергии, называемой сигналом возбуждения.

В зависимости от выбора точки отсчета датчики можно разделить на:

▪ **абсолютные:** определяют внешний сигнал в абсолютных физических единицах, не зависящих от условий проведения измерений;

▪ **относительные:** выходной сигнал формируется относительно известной базовой точки отсчета.

При этом датчики можно также классифицировать по следующим характеристикам или свойствам:

▪ Материалы датчиков: неорганические, органические;

▪ Механизм преобразований:

○ физические (термоэлектричество, фотоэлектричество, фотомagnetизм, магнитоэлектричество, электромагнетизм, термоупругость, электроупругость, термомагнетизм, термооптика, фотоупругость, другие)

○ химические (химические преобразования, физические преобразования, электрохимический процесс, спектроскопия, другие)

○ биологические (биохимические преобразования, физические преобразования, влияние не тестируемые организмы, спектроскопия, другие)

▪ Внешнее воздействие: акустические, биологические, химические, электрические, магнитные, оптические, механические, вязкость, излучение, тепловые.

По типу выходного сигнала датчики можно разделить на: аналоговые, цифровые и импульсные.

К аналоговым датчикам, например, относятся датчики температуры, влажности, давления, термопары, фотосенсоры, акустические, газовые сенсоры и т. д. К импульсным относятся датчики скорости ветра, расходомеры, счетчики ионизирующих частиц и пыли. Они напрямую или через согласующее устройство подключаются к модулю MCU.

Цифровые датчики – это составные датчики, которые уже содержат аналоговый датчик, усилитель, фильтр, АЦП, микроконтроллер, регистры памяти и цифровой интерфейс, совместимый с микроконтроллерами.

На сегодняшний день широкое распространение получают датчики с цифровым интерфейсом, поскольку они не требуют применения внешнего АЦП и других устройств преобразования информации [1, 4, 5].

### **Основные характеристики реализуемых датчиков**

При реализации учитываются следующие характеристики датчиков:

- *Передаточная характеристика или функция* – зависимость между физическим сигналом на входе и электрическим сигналом на выходе. Передаточная функция может быть линейная и нелинейная. В частном случае: логарифмическая, экспоненциальная, степенная.
- *Гистерезис* – время отклика, скорость изменения выходного сигнала датчика в зависимости от скорости изменения сигнала на входе.

- *Линейность* – показывает, насколько выходной сигнал датчика отличается от идеального на всем диапазоне измерения входного сигнала.
- *Чувствительность* – это отношение между малым изменением входного сигнала и конечным изменением выходного сигнала.
- *Точность* – показывает максимальную ошибку между возможным идеальным и реальным выходными сигналами.
- *Ошибка калибровки* – это погрешность, допущенная производителем при проведении калибровки датчика на заводе.
- *Динамический диапазон* – диапазон входных сигналов, которые могут быть точно преобразованы в электрические выходные сигналы.
- *Уровень шумов* – характеристика, показывающая количество шумов, которые добавляет датчик в выходной сигнал.
- *Разрешение датчика* – это минимальные колебания входного сигнала, которые датчик может обнаружить.
- *Полоса пропускания* – характеристика, определяющая количество измерений, которое может выполнить датчик за единицу времени или частоту преобразований.
- *Воспроизводимость* – способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты.
- *Мертвая зона* – это нечувствительность датчика в определенном диапазоне входных сигналов.
- *Выходной импеданс* – это характеристика, указывающая, насколько легко датчик согласовывается с электронной схемой.
- *Сигнал возбуждения* – уровень электрического сигнала, необходимый активному датчику для работы.
- *Время разогрева* – это время между подачей на датчик электрического сигнала или сигнала возбуждения и моментом, когда датчик начинает работать, обеспечивая требуемую точность измерений.
- *Быстродействие* – это количество воспринимаемых датчиком внешних воздействий на единицу времени.
- *Частота среза* – наименьшая или наибольшая частота внешних воздействий, которую датчик может воспринять без искажений.
- *Фазовый сдвиг* – на определенной частоте показывает, насколько выходной сигнал отстает от внешнего воздействия.
- *Резонансная (собственная) частота* – частота сигнала, на которой происходит значительное увеличение выходного сигнала датчика.
- *Коэффициент затухания (демпфирования)* – абсолютное значение отношения большей амплитуды к меньшей пары последовательно взятых полуволн колебаний относительно установившегося значения.
- *Стабильность (дрейф)* – характеристика, описывающая изменения рабочих характеристик с течением времени. Бывает краткосрочная и долгосрочная (связанная со старением датчика).

- *Погрешность саморазогрева* – это величина, характеризующая влияние нагрева датчика от сигнала возбуждения на его точностные характеристики.
- *Надежность* – это способность датчика выполнять требуемые функции при соблюдении определенных условий в течении заданного промежутка времени.

При выборе датчиков под конкретную задачу необходимо учитывать практически все характеристики, перечисленные выше [1, 2, 4, 9].

### **Аппаратная архитектура сенсорного модуля**

Сенсорный модуль суперсенсорного компьютера условно разделен на два блока: блок датчиков с аналоговыми выходами и блок датчиков с цифровыми выходами. Также датчики можно сгруппировать в отдельные категории по типу параметров, которые они измеряют:

- метеорологические датчики:
  - датчик относительной влажности/температуры
  - датчик атмосферного давления/температуры
- датчики электромагнитных полей:
  - датчик низкочастотных электромагнитных полей
  - датчик высокочастотных электромагнитных полей
  - датчик электромагнитных полей со спектром частот, характеризующих электрические разряды и молнии
- датчик магнитных полей (цифровой компас)
- датчики физических колебаний:
  - акустический датчик звукового диапазона
  - акустический датчик ультразвука
  - датчик вибраций (акселерометр)
  - датчик положения (гироскоп)
- датчики излучений:
  - оптический датчик освещенности
  - датчик ионизирующих излучений

На рисунке 1 представлена структурная блок схема сенсорного модуля. Он состоит из 3-х блоков: блок аналоговых датчиков, блок цифровых датчиков и аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который может быть как отдельным модулем, так и входить во внутреннюю структуру микроконтроллера в микропроцессорном модуле.

Цифровые датчики и аналоговые датчики с АЦП подключаются к микропроцессорному модулю с использованием последовательных интерфейсов, таких как SPI или I<sup>2</sup>C.

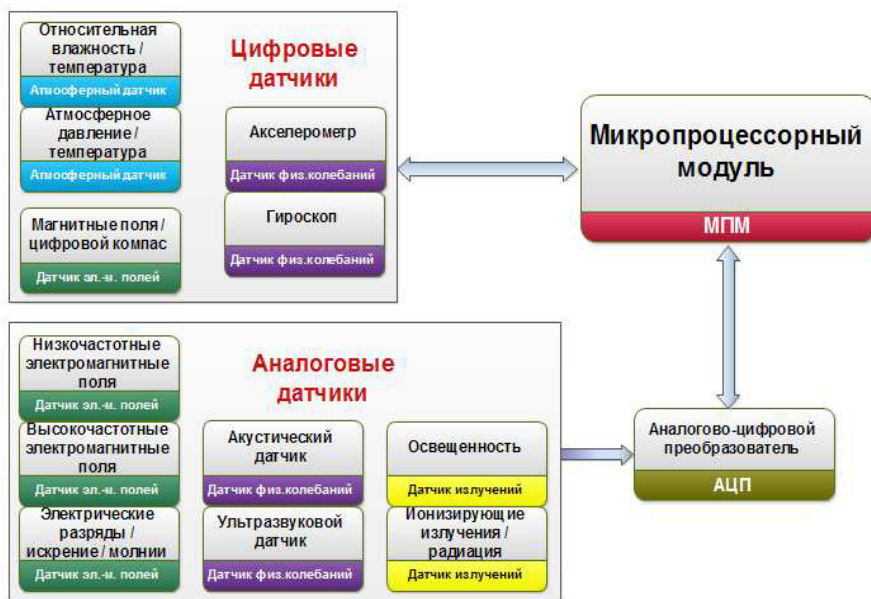


Рисунок 1 – Структурная блок-схема сенсорного модуля

Для подключения аналоговых датчиков необходим аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). От его характеристик зависит качество измеряемого сигнала с датчиков. Большинство современных микроконтроллеров уже содержат встроенный АЦП [3, 6, 7, 8, 9].

#### Некоторые особенности работы датчиков

Описанный выше сенсорный модуль обладает характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры, измеряемые сенсорным модулем.

| Измеряемый параметр     | Диапазон измерения  | Погрешность |
|-------------------------|---------------------|-------------|
| Температура воздуха     | -40...+123.8 °C     | ±0.5 %      |
| Относительная влажность | 0...100 %           | ±4.5 %      |
| Атмосферное давление    | 300...1100 гПа      | ±0.3 %      |
| Освещенность            | 3...70000 Люкс      | ±10 %       |
| Механические вибрации   | -16...+16 g (3 оси) | ±2 %        |

|                             |                                                |       |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------|
| Акустический шум            | 20 Гц... 20 кГц, 0...150 дБ                    | ±10 % |
| Ультразвуковой шум          | 20 кГц...200 кГц, 0...150 дБ                   | ±20 % |
| Ионизирующее излучение      | 0...100000 мкР/ч                               | ±20 % |
| Магнитное поле              | -8.1...+8.1 Гаусс (3 оси)                      | ±1.5% |
| Электромагнитное излучение  | 50 Гц...100 МГц, 0...4000 мкВт/см <sup>2</sup> | ±10 % |
| Детектор грозových разрядов | 0...100 км                                     | ±50 % |

Особый интерес представляют цифровые датчики атмосферного давления/температуры и относительной влажности/температуры. В своем составе они содержат непосредственно сам датчик, усилитель сигнала, аналогово-цифровой преобразователь, микроконтроллер с интерфейсной схемой и энергонезависимой памятью, содержащей калибровочные коэффициенты.

В предыдущих статьях и докладах автора были описаны так называемые комплексные параметры или индексы. Эти индексы обычно используются в погодных метеостанциях, которые на основе нескольких параметров (температура, влажность, скорость ветра и т. д.) рассчитывают температуру окружающей среды, которую человек реально будет чувствовать кожей, а не то, что показывает только один лишь термометр.

Аналогично, подобные индексы могут использоваться и самим датчиком для формирования более точного и достоверного результата измерения того или иного параметра. Например, датчик атмосферного давления HP03S содержит в своем составе и датчик температуры, а также регистры памяти с поправочными коэффициентами  $A, B, C, D, C1, C2, C3, C4, C5, C6$  и  $C7$ . В ряде формул (1) приведен пример вычисления температуры и давления с поправкой на температуру, где  $D2$  – значение температуры, полученное с АЦП датчика,  $D1$  – значение атмосферного давления,  $T$  – вычисленная температура воздуха,  $P$  – вычисленное атмосферное давление [8, 9, 10]:

$$\begin{aligned}
 &\text{Если } D2 \geq C5, \text{ то } dUT = D2 - C5 - \left( \frac{D2 - C5}{2^7} \right)^2 \cdot \frac{A}{2^c} \\
 &\text{Если } D2 < C5, \text{ то } dUT = D2 - C5 - \left( \frac{D2 - C5}{2^7} \right)^2 \cdot \frac{B}{2^c} \quad (1) \\
 &\text{Температура } T = 250 + \frac{dUT \cdot C6}{2^{16}} - \frac{dUT}{2^9} \\
 &OFF = \left( C2 + \frac{(C4 - 1024) \cdot dUT}{2^{14}} \right) \cdot 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SENS &= C1 + \frac{C3 \cdot dUT}{2^{10}} \\ X &= SENS \cdot \frac{D1 - 7168}{2^{14}} - OFF \\ \text{Давление } P &= \frac{X \cdot 10}{2^5} + C7 \end{aligned} \quad (2)$$

**Выводы.** В этом докладе были рассмотрены основные характеристики применяемых в науке и производстве датчиков и приведена их классификация по нескольким категориями.

Предложена аппаратная архитектура сенсорного блока суперсенсорного компьютера, которая была использована для проектирования и создания реального устройства, фотография экспериментального образца которого изображена на рисунке 2.

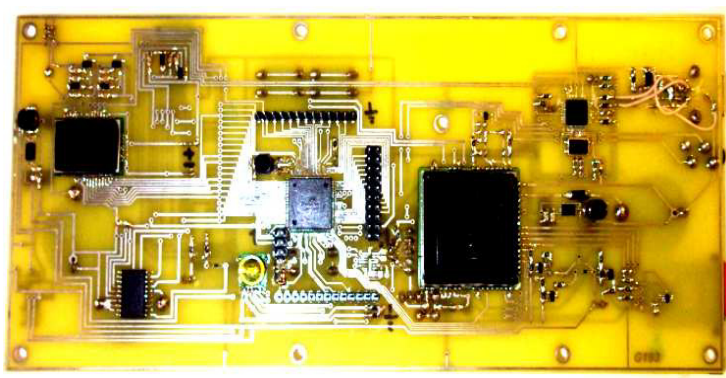


Рисунок 2 – Фотография экспериментального образца суперсенсорного компьютера, в котором использованы некоторые элементы описанного выше сенсорного модуля

В будущем планируется решить следующие задачи:

1. Увеличить номенклатуру используемых датчиков (в т. ч. добавить газовые и медицинские сенсоры).
2. Повысить точность измерений заменой аналоговых датчиков на цифровые.
3. Разработать математические модели расчета комплексных параметров или индексов, по которым можно было определять суммарное воздействие нескольких факторов на организм человека, а также повышать точность самих измерений.



### Список литературы

1. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 360 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).
3. Барретт С.Ф., Пак Д.Дж. Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12 / HCS12 с применением языка С. — М.: Издательский дом «ДМКпресс», 2007. — 640 с.
4. Gavrilovska L., Krco S., Milutinovic V., Stojmenovic I., Trobec R. Application and Multidisciplinary Aspects of Wireless Sensor Networks. Concepts, Integration, and Case Studies. – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 282 p.
5. Dargie W., Poellabauer C. Fundamentals of wireless sensor networks. Theory and practice. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2010. – 311 p.
6. Holger K., Andreas W. Protocols and architectures for wireless sensor networks. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2005. – 497 p.
7. Варзар Р.Л., Харитонов А.Ю. Разработка и применение систем беспроводной связи для измерения параметров атмосферы // Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології – 2009 / Збірка матеріалів п'ятої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. – Донецьк, ДонНТУ – 2009, с. 124.
8. Варзар Р.Л., Аноприенко А.Я. Суперсенсорный компьютер для измерения и анализа параметров окружающей среды. // Информатика и компьютерные технологии / Сборник трудов VIII международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – 18-19 сентября 2012 г., Донецк, ДонНТУ. – 2012. В 2-х томах, Т. 2, с. 156.
9. Varzar R., Anoprienko A. Supersensory computers for measurement and analysis of biologically dangerous factors of environment. // Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics. Proceedings of the 2nd International Scientific Conference of Students and Young Scientists — Kyiv: Bukrek, 2012, p. 186.
10. HP03S High Precision pressure sensor module. HP03S datasheet. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.hoperf.com/upload/sensor/HP03S.pdf>