Математическое моделирование процесса мультисенсорного снятия данных

Епифанцев Кирилл Валерьевич
кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В настоящее время обзор наиболее свежих источников и исследований [1-6] подтверждает актуальность использования мультисенсорного метода в ряде передовых исследований медицины, окружающей среды, возможности перехода к новым эталонам мультисенсорного типа, которые бдыли бы задействованы при поверке и калибровке мультисенсорных приборов. Проблема создания мультисенсорных приборов кроется в создании одновременно нескольких образцовых каналов в одном корпусе, работающих при этом одновременно. Переход от моносенсорности к мультисенсорности возможен за счет использования мультисенсорных эталонов. Также параллельно в приборостроении запущен процесс развития сенсорной фузии, об этом все чаще встречются научные работы, в частности – большие монографии [6].
Ключевые слова: мультисенсорные эталоны, математическое моделирование, уменьшение погрешности измерений.

Мультисенсорика является несомненно возможностью существенно увеличить обьем знаний об измеряемом обьекте, глубже и многогранно проникнуть в его свойства. Так примером служит система «электронный язык» (Рисунок 1)

В большинстве компаний имеются ключевые тренды, которые доказаны ростом потребностей в развитии высокотехнологичной индустрии, такие как:

Потребность промышленности в быстром и достоверном контроль деталей из разного материала;

Масштабирование моносенсорных приборов до мультисенсорных приборов;

Разработка недорогих датчиков, их быстрое испытание, подтверждение надежности;

Внедрение систем интернета вещей в приборы;

Помехозащищённость, размещение датчиков компактно, в мниатюрном корпусе и визуализирование программной обработки результатов

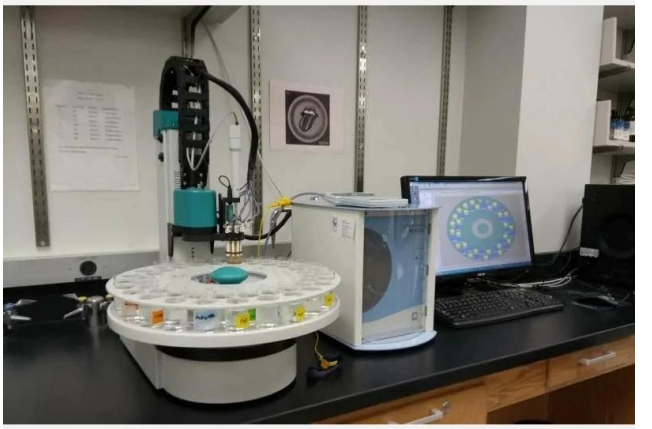


Рисунок 1 – Мультисенсорная система измерения вкусовых свойств в ряде зарубежных компаний

По результату исследований можно сказать, что мультисенсорный датчик был бы интересен универсальностью к различным типам материалов, которые не могут взять оптический и вихретоковый датчики по отдельности в силу отражающих факторов, особенностей плотности материалов и т. д., но могут взять в совокупности, объединив свои усилия.

Таким образом, можно сделать вывод о неоднократности применения функции из таблицы 28 для обработки выходного сигнала с датчика кругломера. Наиболее сложные системы обработки описаны в исследовании [145], где рассмотрен вопрос определения погрешностей работы лазерного триангулятора.

Таким образом, модель работы мультисенсоной системы представляет собой равновесную мультисенсорную систему, так пусть

$$\text{Mult dim} = (\text{LMTI}\Theta\text{NJ}) \bullet \Sigma_{\text{mult попр}}, \quad (1)$$

Где

LMTIΘNJ – размерности единиц СИ по ГОСТ 8.417-2024

$\Sigma_{\text{mult попр}}$ - сумма учёта поправок при измерении сенсорами различного типа

Поправки , которые зависят от характера суммарной погрешности и определяются пределом допуска. Допуски и интервалы измерения при этом зависят от класса точности оборудования и допускают что система также будет иметь вид

$$\text{Mult dim} = (\text{LMTI}\Theta\text{NJ}) \bullet \Sigma_{\text{mult попр}} \bullet N, \quad (2)$$

где

N - наработка до первого отказа

Так (2) несомненно связывает мультисеснорность с надежностью данных компонентов в совместной работающей системе. Однако в ряде публикаций находим подтверждение того, что данные с разных сенсоров должны быть привязаны к одному моменту времени. Если временные метки расходятся, алгоритмы фузии (слияния данных) будут работать некорректно. Преобразуем поэтому (2) в (3)

$$\text{Mult dim} = \frac{(\text{LMTI}\Theta\text{NJ}) \bullet \Sigma \text{ mult попр} \bullet N)}{t} \quad (3)$$

Где t-единый момент времени

В системе многомерных измерений важно заметить, что влиянию временно температурного влияния (что учитывается также в разделе надежности) таким образом, подвергаются все равновесные коэффициенты, откуда

$$\text{Mult dim} = \frac{(\text{LMTI}\Theta\text{NJ}) \bullet \Sigma \text{ mult попр} \bullet N)}{t \cdot \Theta} \quad (4)$$

Также ставим векторы над векторными величинами, что особенно актуально для мультисенсоризации приборов, измеряющих векторные величины.

$$\text{Mult dim} = \frac{(\vec{M}(\text{LMTI}\Theta\text{NJ})\bullet\Sigma \text{ mult попр}\bullet\text{N})}{t\cdot\Theta} (5)$$

где $\vec{M}$ – векторная величиная , испльзуемая для измерения геометрических допусков

В связи с использованием основной величины движущей силы - силы тока, извлекаем корень, так как он однозначно фильтруется, выпрямляется и задействован в работе всех мультисенсорных приборов

$$\text{Mult dim} = \frac{(\vec{M}(\text{LMTI}\Theta\text{NJ})\bullet\Sigma \text{ mult попр}\bullet\text{N})}{t\cdot\Theta\cdot\sqrt[2]{I}} (6)$$

В [7] неоднократно подчеркивается роль искусственного интеллекта как дополнительного сенсора, анализирующего микродефекты детали, таким образом в расновесной модели мультисенсорной системы этот фактор также должен быть учтен для ананлиза первичного изображения детали, тогда (6) примет вид

$$\text{Mult dim} = \iint h \frac{(\vec{M}(\text{LMTI}\Theta\text{NJ})\bullet\Sigma \text{ mult попр}\bullet\text{N})}{t\cdot\Theta\cdot\sqrt[2]{I}} (7)$$

Где

$\iint h$- алгоритм вычисление первичных признаков дефектов детали методами машинного зрения в виде применного ПО

На основе обзора статей в международных базах данных отмечено, что мультисенсорные технологии в обзорах наиболее актуальных статей за 2024-2026 года не использовали принцип мультисенсорной системы для метрологического обеспечения круглометрии. Это связано, прежде всего, с уже устоявшимися игроками на этом рынке, которые и диктуют тренды - Mitutoyo, Mahr и Tailor Hobson, являются ключевыми игроками по производству кругломеров и имеют стабильные технологии , а конкуренты не вынуждают их разрабатывать кардинально новые принципы мультисенсорных систем.

Мультимодальность в течение долгого времени является ключевым принципом развития современных средств приборостроения. Этот момент представлен как в экономическом, так и в техническом плане достаточно хорошими разработками современных компаний. Без мультимодальности невозможно оценить качество работы двух наиболее уязвимых элементов нашей жизни - качества интернета и качества электроснабжения. В качестве примера можно привести линейку приборов на основе симбиоза осциллографа, анализатора спектра и частотомера (Рис. 1)



Рисунок 2 - Пример анализатора качества электроснабжения – мультисенсорного комплексного прибора

Мультимодальные приборы также незаменимы при поиске оптимальных решений при проведении медицинских обследований, как одни из важнейших элементов, способов уловить первые признаки зарождающегося заболевания.



Рисунок 3 – Многообразие оптических измерительных приборов

Основные принципы работы мультимодальных или мультисенсорных приборов сводятся к одновременному приёму нескольких входных потоков от разных датчиков, способных увеличить ширину отработанной информации и решить проблему наличия дорогостоящего оборудования за счет размещения нескольких приборов в одном корпусе. Однако , как ранее писалось в ряде статей , класс точности и методика поверки подобных приборов, имеющих несколько щупов в одном месте, остается под вопросом, так как по сути - это единый организм, который однако многие методики поверки призывают поочередно проверять, по отдельности, по сути разделяя этот комплексный организм на отдельно составляющие части. При этом не учитываются особенности того, что данный прибор все-таки монолитная конструкция, принимающая одинаковое количество шумов и помех в пересчете на несколько сенсоров. Для этого метода модно привести пример, касающийся сиамских сросшихся близнецов- они, к сожалению, не могут по отдельности сдавать те или иные биологические анализы, так как обмен веществами все равно в их сложном организме будет единым.

Пример многообразия приборов в области оптических измерений приведен на рисунке 3.

В настоящее время перспективно думать о будущих приборах, о их возможных венчурных моделях развития. В связи с этим была разработана таблица 1

Таблица 1
Классификация и потенциально перспективных типов приборов и новых эталонов

	M(кг)	L(м)	T(с)	Θ (K)	N(моль)	J(кд)	I (A)
M(кг)	M^2	M·L	M·T	M·Θ	M·N - измеритель веса с одновременным контролем молярной доли, перспективная величина-граммомоль	M·J	M·I
L(м)	...	...	...	...	...	...	...
T(с)	...	...	...	...	...	...	...
Θ(K)	...	...	...	...	...	...	...
N(моль)	...	...	...	...	...	...	...
J(кд)	...	...	...	...	...	...	...
I(A)	...	...	...	...	...	...	...

Таким образом, сенсорная фузия обеспечивает расширения будущих физических величин, дает возможность исследовать методологию появления измерительных приборов в будущем

Литература

1. Ермаков В. В. Разработка многоуровневой мультисенсорной системы мониторинга загрязнений земной поверхности углеводородами. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Самарский гос.техн. университет. Самара, 2025 -238 с.
2. Bogomolov A.Yu., Korneev V.P., Ignatiev E.A. Multisensor Data Analysis.Journal of Analytical Chemistry, 2026, Vol. 81, No. 8, pp. 1122–1141.
3. Holgado-Terriza J.A., Pico-Valencia P., Liang Z.Wearable Devices and New Frontiers in Smart Health Monitoring. Sensors, 2026, Vol. 26, No. 7, Art. 2097.
4. Kurmangazy M., Maksut A., Bizhanov D., Zhetenbayev N., Nurgizat Y.Design and Development of a Multisensor Wearable System for Human Limb Motion Monitoring. Vibroengineering Procedia, 2026, Vol. 63, pp. 96–102.
5. Xin Liu, Hongping Wang, Hainan Li A Long-Range LiDAR–Camera Extrinsic Calibration Method for Rail Transit. Scientific Reports, 2026 .
6. John A., Cardiff B., John D. Deep Learning and Signal-Processing Methods for Multisensor Data Fusion: Applications to Ambulatory Health Monitoring. Springer, Cham, 2026, 244 p.
7. Епифанцев К.В. Развитие систем мультисенсоризации как флагман метрологии//Инновации и инвестиции. 2026. № 3. С. 478-479.

Mathematical Modeling of the Multisensor Data Acquisition Process

Epifantsev K.V.
Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

JEL classification: C10, C50, C60, C61, C80, C87, C90

A review of recent sources and research [1–6] confirms the relevance of the multisensor approach in various cutting-edge studies within the fields of medicine and environmental monitoring. It also highlights the potential for transitioning toward new multisensor-type reference standards, which could be employed for the verification and calibration of multisensor instruments. The challenge in developing multisensor instruments lies in integrating multiple reference channels—all operating simultaneously—within a single housing. The transition from single-sensor to multisensor systems is facilitated by the use of multisensor reference standards. Concurrently, the field of instrumentation is seeing the development of "sensor fusion," a topic increasingly addressed in scientific literature, including comprehensive monographs [6].

Keywords: multisensor reference standards, mathematical modeling, reduction of measurement error.

References

1. Ermakov V. V. Development of a Multilevel Multisensor System for Monitoring Hydrocarbon Contamination of the Earth's Surface. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Samara State Technical University. Samara, 2025, 238 p.
2. Bogomolov A.Yu., Korneev V.P., Ignatiev E.A. Multisensor Data Analysis. Journal of Analytical Chemistry, 2026, Vol. 81, No. 8, pp. 1122–1141.
3. Holgado-Terriza J.A., Pico-Valencia P., Liang Z. Wearable Devices and New Frontiers in Smart Health Monitoring. Sensors, 2026, Vol. 26, No. 7, Art. 2097.

4. Kurmangazy M., Maksut A., Bizhanov D., Zhetenbayev N., Nurgizat Y. Design and Development of a Multisensor Wearable System for Human Limb Motion Monitoring. Vibroengineering Procedia, 2026, Vol. 63, pp. 96–102.
5. Xin Liu, Hongping Wang, Hainan Li. A Long-Range LiDAR–Camera Extrinsic Calibration Method for Rail Transit. Scientific Reports, 2026.
6. John A., Cardiff B., John D. Deep Learning and Signal-Processing Methods for Multisensor Data Fusion: Applications to Ambulatory Health Monitoring. Springer, Cham, 2026, 244 p.
7. Epifantsev K.V. Development of Multisensor Systems as a Flagship of Metrology // Innovations and Investments. 2026. No. 3. pp. 478–479.