

Таблица 2

t_{mnhl}	n четно				n нечетно			
	$a_{mn} < 0$		$a_{mn} \geq 0$		$a_{mn} < 0$		$a_{mn} \geq 0$	
	$b_{mn} < 0$	$b_{mn} \geq 0$	$b_{mn} < 0$	$b_{mn} \geq 0$	$b_{mn} < 0$	$b_{mn} \geq 0$	$b_{mn} < 0$	$b_{mn} \geq 0$
t_{mn11}	0	0	a_{mn}	a_{mn}	$-a_{mn}$	$-a_{mn}$	0	0
t_{mn12}	$-a_{mn}$	$-a_{mn}$	0	0	0	0	a_{mn}	a_{mn}
t_{mn21}	0	b_{mn}	0	b_{mn}	$-b_{mn}$	0	$-b_{mn}$	0
t_{mn22}	$-b_{mn}$	0	$-b_{mn}$	0	0	b_{mn}	0	b_{mn}

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 t_{mnhl} \exp \left[i \frac{\pi}{2} (2k+l-3) \right] &= H_{mn}, \quad n \text{ четно,} \\ \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 t_{mnhl} \exp \left[i \frac{\pi}{2} (2k+l-1) \right] &= H_{mn}, \quad n \text{ нечетно.} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Воспользовавшись (11), уравнения (14) можно записать в виде систем уравнений с действительными коэффициентами:

$$\left. \begin{aligned} \left. \begin{aligned} t_{mn11} - t_{mn12} &= a_{mn}, \\ t_{mn21} - t_{mn22} &= b_{mn}, \end{aligned} \right\}, \quad n \text{ четно,} \\ \left. \begin{aligned} t_{mn12} - t_{mn11} &= a_{mn}, \\ t_{mn22} - t_{mn21} &= b_{mn}, \end{aligned} \right\}, \quad n \text{ нечетно.} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Системы уравнений (15) допускают бесконечное число решений. Одно из них можно представить в виде таблицы решений (табл. 2).

Предлагаемый метод кодирования, как это следует из (15), требует от устройства вывода фильтров из ЭВМ реализации четырех элементов размером $\Delta x/2 \times \Delta y/2$ (рисунков, б), что в два раза снижает требование к разрешению в сравнении с методом Ли. Предложенный метод кодирования может быть применен для синтеза фурье-голограмм и голограмм Френеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee W. H. Sampled Fourier-Transform Hologram Generated by Computer.— Appl. Opt., 1970, vol. 9, N 9.
2. Burckhardt C. B. Simplification of Lee's Method of Generating Holograms by Computer.— Appl. Opt., 1970, vol. 9, N 8, p. 1949.

Поступило в редакцию 16 декабря 1980 г.

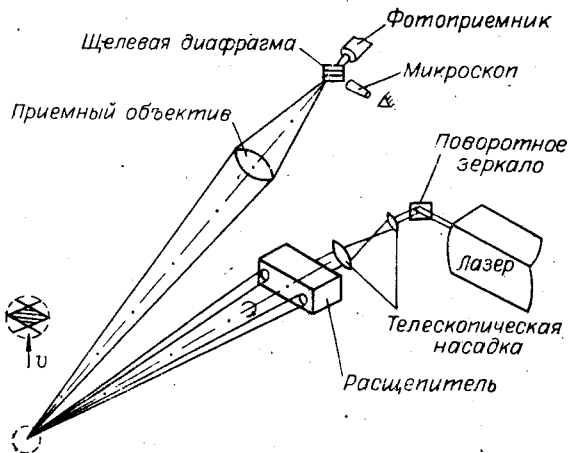
УДК 532.57 : 533.6.071.08 : 621.375.8

Н. П. КОЛОТАЕВ
(Москва)

АДАПТИРУЮЩАЯСЯ К УСЛОВИЯМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АСНИ ЛДДС МИНИ-ЭВМ

Аэродинамический эксперимент представляет сложный вид научного исследования аэрофизических процессов в воздушных потоках, обтекающих модели и элементы летательных аппаратов. Он характеризуется большим объемом измерений различных физических величин, высокой точностью и информативностью результатов измерений, малой длительностью процесса измерений. Внедрение в практику метода лазерной

Рис. 1.



печения отмеченных проблем создана автоматизированная система научных исследований (АСНИ) на базе лазерного доплеровского измерителя скорости (ЛДИС) и мини-ЭВМ, позволившая усовершенствовать автоматизацию аэрофизических исследований, в которых применяется лазерный анемометр. Основными элементами АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ являются [3] специализированный электронный процессор ЛДИС, автоматический координатно-измерительный стол с числовым программным управлением, оптическая система с управляемым устройством пространственной ориентации зондирующего интерференционного поля, мини-ЭВМ. Источником когерентного света в оптической системе (рис. 1) служит малошумящий аргоновый лазер с уровнем спектральной плотности относительной мощности шумов $2 \cdot 10^{-14}$ 1/Гц в диапазоне измеряемого доплеровского сдвига частоты. Широкополосный, с полосой пропускания $\Delta F \leq 120$ МГц, фотоприемник имеет квантовый выход $\eta \approx 12\%$. Дискретная измерительная схема процессора ЛДИС (рис. 2) производит полосовую Δf частотную фильтрацию, анализирует и выделяет по оптимальному алгоритму центральную часть доплеровского сигнала, в которой на квазиоптимальном уровне измеряются длительность сигнала T_x и импульсная последовательность N_x , синхронизованная с фазовыми переходами сигнала через нулевой уровень в пределах интервала T_x . Автоматика реализует асинхронную работу аппаратуры комплекса.

Специализированный процессор ЛДИС совместно с экспериментальной оптической системой обеспечивает измерение компоненты вектора мгновенной скорости v_i потока в диапазоне скоростей ≤ 300 м/с с пространственным разрешением до 0,01 мм. Достигнута погрешность измерения скорости воздушного потока, составляющая 0,1%. Минимальное время выделения параметров доплеровского сигнала доведено до ~ 1 мкс, что позволяет практически мгновенно проводить измерения скорости исследуемого потока.

Основной целью проблемно-ориентированной АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ является извлечение максимума экспериментальной информации в аэродинамическом эксперименте за заданное время. Оптимальный подход к аэродинамическому эксперименту с применением ЛДИС характеризуется решением многопараметрических задач, связанных как с оптимальной оценкой искомых параметров, так и с вторичной обработкой и оптимальным планированием эксперимента. Планирование эксперимента и оценка искомых параметров выполняются с помощью мини-ЭВМ. В проблемно-ориентированной АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ, которая в течение ряда лет успешно работает в экспериментах в дозвуковой аэродинамической трубе с открытой рабочей частью, равной 3,5 м, применяется в качестве мини-ЭВМ вычислительная машина типа ЕС-1010. На ЭВМ более высокого уровня, связь с которой осуществляется с помощью устройства УС ЕС и магистральной линии, выполняется вторичная математическая обработка результатов измерения по алгоритмам, согласованным с конкретным объектом исследования. По магистральному каналу проводится двусторонний обмен информацией в виде пакетов переменной длины. Скорость передачи информации с программным ее контролем достигает 25 Кбайт/с.

При исследовании воздушного потока лазерным анемометром средняя скорость потока определяется расчетом по результатам ряда повторных измерений доплеровского сдвига частоты с учетом масштабного множителя k , обеспечивающего переход к размерности скорости в м/с:

$$\bar{v} = k \frac{\sum_{i=1}^m N_{xi}}{\sum_{i=1}^m T_{xi}}$$

Для получения с высокой точностью данных о скорости исследуемого потока выполняется фильтрация по качеству доплеровских сигналов, заполненных частотой ν . Из последовательности сигналов исключаются реализации, не удовлетворяющие необходимым требованиям. Некачественными являются сигналы с числом периодов меньше

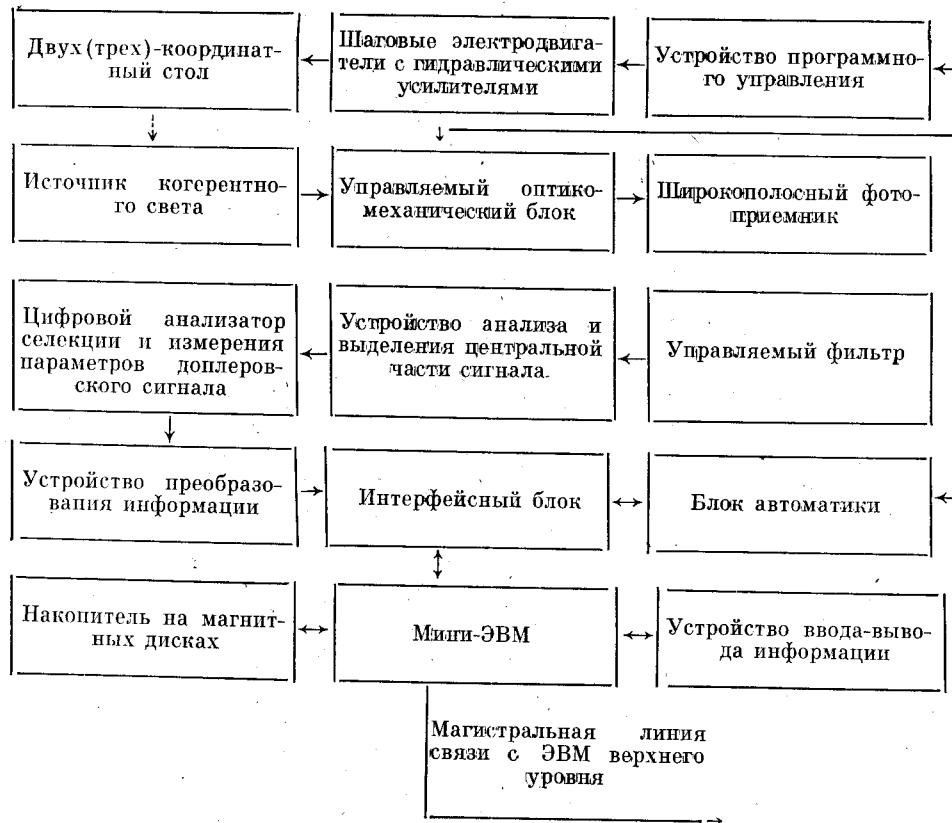


Рис. 2.

допустимого, с малой глубиной модуляции, с неравномерной частотой заполнения, а также сигналы от мелких и крупных частиц аэрозоля (амплитудный признак). Отсев некачественных доплеровских сигналов осуществляет специализированный процессор ЛДИС. Частота качественных сигналов измеряется одним из трех типов периодометров: модернизированным двухканальным частотомером [4], интерполяционным измерителем временных интервалов [5] или специализированным аналого-цифровым процессором [6]. Результаты измерения доплеровского сдвига частоты накапливаются в оперативной памяти ОЗУ и с помощью мини-ЭВМ математически обрабатываются. Программы обработки ориентированы на задачи средней сложности, применение непосредственно на рабочем месте в аэродинамической трубе, использование в режиме диалога пользователя с системой и выполнение в реальном масштабе времени аэродинамического эксперимента.

Аэродинамический эксперимент, проводимый с помощью адаптивной автоматизированной системы научных исследований ЛДИС мини-ЭВМ, представляет циклический процесс (рис. 3). В основу аэрофизических исследований положен топографический метод. Выбранная область исследования воздушного потока «сечется» в направлении оси координат рядом плоских слоев, формируемых пространственным позиционированием измерительного объема. Количество фиксированных позиций в таком слое практически достигает 10^6 , а количество результатов измерений ЛДИС может составлять $10^8 - 10^{10}$ измерений при объеме информации одного результата измерения доплеровской частоты, равном 28 бит. Позиционирование измерительного объема осуществляется автоматическим координатно-измерительным столом в объеме $600 \times 350 \times 300 \text{ мм}^3$ с минимальным шагом 0,1 мм и погрешностью 0,01 мм.

АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ обеспечивает измерение компоненты вектора скорости v , перпендикулярной к направлению интерференционных полос в измерительном объеме (см. рис. 1). Изменение угловой ориентации интерференционной решетки в пространстве позволяет измерять две компоненты вектора скорости. Величина среднеквадратичной относительной погрешности σ_{vi} единичного измерения скорости потока оценивается соотношением [7]

$$\sigma_{vi} = (1/2\pi N_{\chi i}) \sqrt{(1/\Phi_{\Pi}) [1 + I_{\Phi}/(1 + \zeta) I_{\Pi}] + N_{\text{ш}}/N_{\text{СП}} + k_0 (2/3) \pi^2 \tau_0^2 v_i^2},$$

где $\Phi_{\Pi} = I_{\Pi}/4I_0 B k_{\Phi} \Delta f (1 + \zeta)$; $N_{\text{ш}}/N_{\text{СП}}$ — мощность шума электронной системы, отнесенная к мощности сигнала на квазиоптимальном уровне; $1/(1 + \zeta)$ — коэффициент глубины модуляции сигнала; I_{Φ}/I_{Π} — отношение тока от фоновой засветки в харак-

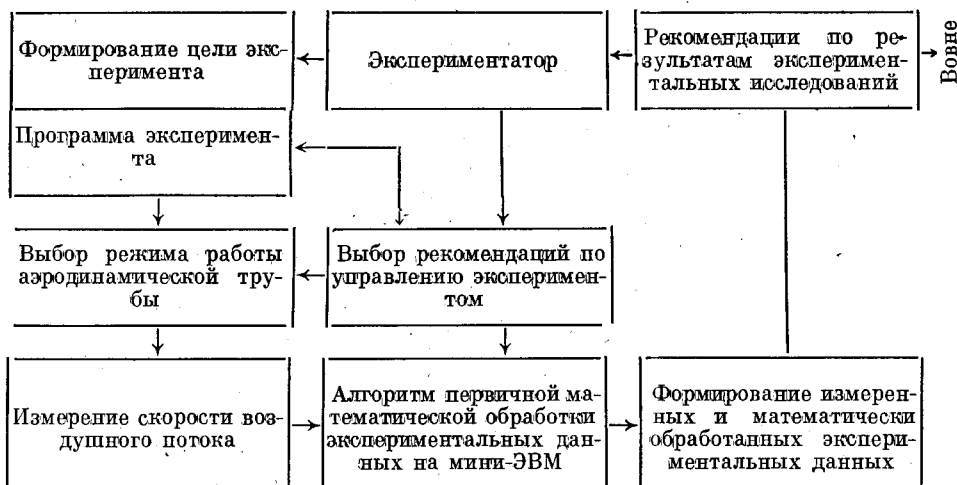


Рис. 3.

терной точке (например, после ФЭУ) к приведенному пороговому значению тока в этой же точке; k_0 — коэффициент, учитывающий шумы при формировании временного интервала, измеряемого эталонным отрезком времени t_0 ; k_Φ — коэффициент усиления (по току) фотоприемника и линейного усилителя измерительной системы ЛДИС; B — коэффициент умножения шумов в фотоприемнике; l_0 — заряд электрона.

Погрешность ε определения среднего значения скорости исследуемого потока зависит от объема выборки реализаций сигнала ЛДИС и характера течения исследуемого потока. Априори нельзя задать степень пульсаций потока, а также концентрацию аэрозоля в потоке. АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ адаптируется к текущим условиям эксперимента, осуществляя часть функций по получению, обработке и анализу недостающей информации. Так, с учетом характера потока и заданной точности измерения его скорости автоматически вычисляется объем M (целая часть int) выборки для каждой фиксированной позиции зондирующего интерференционного поля в исследуемом течении $M = \text{int}(\sigma^2/\bar{v}^2\varepsilon^2)$. Характер течения воздушного потока оценивается по величине дисперсии σ^2 скорости потока, измеренной предварительно M_{min} раз. Величина M_{min} задается во время диалога с мини-ЭВМ. Также автоматически выбираются пространственные области, в которых концентрация аэрозоля выше минимальной. При этом скважность пролета частиц аэрозоля через измерительный объем равна или меньше времени t_{min} , задаваемого оператором.

Усовершенствование автоматизации научного эксперимента в натурной аэродинамической трубе [8] за счет создания адаптивной АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ позволяет вести аэрофизические исследования практически одному экспериментатору-аэродинамику с экранного пульта оператора.

Проблемно-ориентированная АСНИ ЛДИС мини-ЭВМ может найти применение в различных аэродинамических экспериментах для исследования, например, распределения скорости потока в рабочей части аэродинамической трубы или вблизи модели летательного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюх Ю. Н., Гродзовский Г. Л., Кологаев Н. П., Якубайтис Э. А. Лазерные доплеровские измерители скорости потоков жидкости и газа.— Изв. АН Латв. ССР, 1979, № 5 (382).
2. Артюх Ю. Н. и др. Быстродействующая система измерения и регистрации цифровой информации лазерного доплеровского измерителя скорости для исследования турбулентных потоков.— В кн.: Тез. докл. III Всесоюз. сов. «Экспериментальные методы и аппаратура для исследования турбулентности». Новосибирск: ИТ СО АН СССР, 1979.
3. Агопян И. П. и др. Автоматическая электронно-оптическая информационно-измерительная и управляющая система промышленного лазерного доплеровского

- измерителя мгновенной и средней скорости воздушного потока.— В кн.: Докл. II Всесоюз. конференции по методам аэрофизических исследований. Новосибирск: ИГиПМ СО АН СССР, 1979.
4. Зуев В. Н., Колотаев Н. П., Миронов А. М. Расширение характеристик электронного частотомера для селекции и измерения параметров кратковременных сигналов.— Тр. Рязанского радиотехн. ин-та. Рязань, 1975, вып. 68.
 5. Ковтун А. К., Шкуро А. Н. Принципы построения цифровых измерителей интервалов времени.— ПТЭ, 1973, № 1.
 6. Беспалько В. А. Специализированный аналого-цифровой процессор для дискретной системы ЛДИС.— В кн.: Тез. докл. III Всесоюз. сов. «Экспериментальные методы и аппаратура для исследования турбулентности». Новосибирск: ИТ СО АН СССР, 1979.
 7. Гродзовский Г. Л. Выбор оптимальных параметров лазерного доплеровского измерителя скорости жидкости и газа.— Ученые записки ЦАГИ, 1976, т. VII, № 5.
 8. Карпов В. А., Колотаев Н. П., Мезенцева С. Ф., Никитин В. Е. Автоматизация научного эксперимента в натурной аэродинамической трубе с ЛДИС.— В кн.: Материалы Всесоюз. конференции «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ». Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1977.

Поступило в редакцию 22 декабря 1980 г.

УДК 621.391

С. А. ГАЛУН, А. В. ЗЮЛЬКОВ, А. П. ТРИФОНОВ

(Воронеж)

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ФОНЕ ШУМОВ

Задача оценки параметров оптических изображений рассматривалась в работах [1, 2] и др. Однако в [1, 2] найдена лишь потенциальная точность оценки неэнергетических параметров изображения. Зарегистрированное оптическое черно-белое изображение будем описывать пуассоновским полем случайных точек [1—3]. Для фотоэлектронного приемника эти точки соответствуют вылетевшим фотоэлектронам, а для фотопластинок и фотоплёнок — светочувствительным центрам, в которых поглощены кванты света. Полагая, что шумы (фон) равномерно засвечивают весь экран (область наблюдения G), интенсивность изображения обозначим $\lambda(\xi)$, $\xi = (\xi_1, \xi_2)$, $\xi \in G$. Распределение интенсивности полезного изображения $\lambda_s(\xi/\sqrt{\chi})$ зависит от характеризующего его масштаб параметра $\chi \in [\chi_{\min}; \chi_{\max}]$. При этом $\lambda(\xi) = \lambda_s(\xi/\sqrt{\chi}) + \lambda_N$, где λ_N — интенсивность шумов, а

$$\lambda_s(\xi) = \begin{cases} \lambda_0, & \xi \in \Omega, \\ 0, & \xi \notin \Omega. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь Ω — область, ограниченная контуром изображения, площадь которой равна E_s . Если в выбранной системе координат (ξ_1, ξ_2) $E_s = 1$, то параметр χ численно равен площади полезного изображения. Для измерения площади оптического изображения χ_0 по наблюдаемой в области G реализации $N(\xi)$ воспользуемся методом максимального правдоподобия. Тогда оценка χ_m площади χ_0 определяется как положение абсолютного максимума логарифма функционала отношения правдоподобия [2]:

$$M(\chi) = \int_G \ln [1 + \lambda_s(\xi/\sqrt{\chi})/\lambda_N] dN(\xi) - \int_G \lambda_s(\xi/\sqrt{\chi}) d\xi \quad (2)$$

при $\chi \in [\chi_{\min}; \chi_{\max}]$. Используя (1), перепишем (2) как

$$M(\chi) = \ln(1 + \lambda_0/\lambda_N) N_\chi - \chi \lambda_0 E_s, \quad (3)$$

где N_χ — число случайных точек наблюдаемой реализации $N(\xi)$ в области, имеющей форму полезного изображения (1) с площадью χE_s . Согласно (3), устройство для измерения площади оптического изображения можно представить в виде рис. 1, где 1 — анализируемое изображение; 2 — сменная маска с отверстием, имеющим форму области Ω с различными значениями площади χE_s ; 3 — фотоэлектронный преобразователь, выходной сигнал которого пропорционален числу точек изображения N_χ в пределах отверстия маски, а $\psi = \lambda_0 E_s / \ln(1 + \lambda_0/\lambda_N)$. Устройство позволяет путем смены масок получить $M(\chi)$ для различных $\chi_i \in [\chi_{\min}; \chi_{\max}]$, $i = \overline{1, n}$, n — число используемых масок. Площадь отверстия маски, для которой $M(\chi_i)$ достигает наибольшего значения, является оценкой неизвестной площади изображения (1). Рассмотренное устройство, хотя и реализует метод максимального правдоподобия, обладает ря-