

УДК 681.5.015

## МЕТОД И УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА METHOD AND THE DEVICE OF THE ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE PERSON-OPERATOR

А. В. Пересунькина, Д. М. Ключков  
Саратовский государственный технический университет  
Saratov state technical university

*The question on working out of algorithm for estimation of a functional condition of an organism of the person-operator was considered. The block diagram of the device for its realization was offered.*

С каждым годом возрастают требования к безопасности автоматизированных систем управления различными объектами. В таких системах человек-оператор осуществляет контроль работоспособности системы и является основным контролирующим звеном. Однако, являясь составной частью системы, человек также должен подвергаться контролю, то есть в системе должна присутствовать так называемая подсистема контроля функционального состояния человека-оператора. Поэтому одним из необходимых этапов проектирования автоматизированных систем является задача мониторинга функционального состояния человека-оператора, которая заключается в выполнении требований, предъявляемых к подсистеме контроля. Развитие технологий в области микропроцессорных устройств и телекоммуникаций обусловили возможность разработки и широкого внедрения в повседневную практику систем дистанционного мониторинга различной степени сложности.

В целях проведения мониторинга состояния организма человека-оператора разрабатываются различные математические модели систем его организма. Вместе с тем, большинство известных в настоящее время математических моделей лишь качественно описывают отдельные типы поведения моделируемых систем. Одним из наиболее изученных и перспективных направлений конструирования математических моделей системы является реконструкция временных рядов, полученных при исследовании биосигналов.

Одной из задач, для решения которых проводится динамическая реконструкция, является оценка возможных состояний системы, текущего возможного последующего состояний системы. Для решения этой задачи необходимо наблюдать за системой длительное время. Пусть, находясь в одном из структурных состояний, система может принимать любое из  $n$  функциональных состояний. Если достаточно долго наблюдать систему, то по частоте появления функциональных состояний можно приближенно судить о вероятностях пребывания системы в этих состояниях. Обозначим вероятность пребывания системы в  $i$ -м состоянии через  $p_i$ . Для общей оценки системы по вероятностям будем использовать понятие нео-

пределенности, или энтропии.

Пусть измерены относительные частоты появления всех возможных состояний, то есть вероятность появления каждого из состояний. Все функциональные состояния образуют полную систему событий. При этом выполняется соотношение:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1.$$

Размерность облака исследованных точек позволяет говорить о сложности системы. Малая размерность подразумевает, что только небольшое количество данных позволит предугадать поведение системы. Большая размерность подразумевает большее количество точек. Для более точного определения поведения системы по малым входным данным необходимо использовать другой параметр – расчет энтропии распределения.

Под неопределенностью (энтропией) дискретных величин  $p_i$  понимают следующую величину:

$$H_s = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$$

Если, например, система чаще всего находится в  $i$ -м состоянии, то вероятность  $p_i$  стремится к единице. В предельном случае, когда  $p_i = 1$ , энтропия равна нулю, и система становится детерминированной. Если система безразлична к своим состояниям, то вероятности равны друг другу, а неопределенность, т.е. энтропия, приобретает максимальное значение. Чем больше энтропия, тем больше система непредсказуема.

Таким образом, размерность и энтропия – это два параметра, определяющие, насколько хорошо можно предсказать дальнейшее поведение системы.

При расчете энтропии используются данные о возможных состояниях биологической системы. В рассматриваемом случае (измерение артериального давления) мы располагаем только временным рядом, описывающим изменения некоторого параметра системы.

Существуют некоторые сложности при определении применения алгоритмов оценки размерности и энтропии к биологическим данным, таким как сердечный ритм или артериальное давление. Во-первых, длительность входного сигнала очень мала (меньше 5000 точек), в то время как для получения точных значений размерности и энтропии для базовых систем размерности  $d$  обычно требуется от  $10^d$  до  $30^d$  точек. Во-вторых, большая часть определений энтропии и размерности непрерывны по отношению к системному шуму: суперпозиция шума произвольно малой амплитуды вносит бесконечность в вычисление.

В работе предлагается набор параметров  $ApEn(m, r)$  (аппроксимирующей энтропии) и связанная статистика  $ApEn(m, r, N)$  как основной параметр, определяющий сложность системы. Изменение этих параметров, в основном, согласу-

ется с изменениями размерности и энтропии, рассчитанными по формулам для маломерных детерминированных систем. Преимуществом предлагаемого подхода является то, что величина  $ApEn(m, r)$  может быть получена с использованием меньшего количества измерений (около 1000) при различных условиях.

Приближенная энтропия оценивает логарифм вероятности того, что паттерны, которые являются близкими для  $m$  наблюдений, остаются близкими и в последующем. Чем больше регулярность (то есть больше вероятность сходства паттернов), тем меньше энтропия. Поэтому энтропия является достаточно хорошим средством оценки регулярности временного ряда, и, следовательно, критерием функционального состояния человека.

Алгоритм оценки функционального состояния включает в себя следующие шаги: регистрация биосигналов и формирование временного ряда, оценка регулярности временного ряда на основе вычисления приближенной энтропии, интерпретация результатов.

Для регистрации биосигналов могут использоваться осциллометрический и фотоплетизмографический методы. Использование любого из них позволяет зарегистрировать сигналы кровяного давления и сформировать временной ряд. При использовании осциллометрического метода регистрируются колебания воздуха в манжете. Использование фотоплетизмографического метода позволяет зарегистрировать колебания давления в сосудах по сигналам переменной составляющей фотоплетизмографического датчика. Сформированный временной ряд можно использовать для вычисления приближенной энтропии и, соответственно, оценки функционального состояния человека-оператора.

Сформированный временной ряд используется для вычисления приближенной энтропии, являющейся мерой регулярности данного ряда.

Алгоритм оценки регулярности ряда состоит в следующем:

- временной ряд длины  $N$  разбивается на паттерны длины  $m$ ;
- вычисляется коэффициент сходства паттернов  $C_i^m(r)$  с учетом заданно-

го допуска  $r$  на характеристику сходства:

$$C_i^m(r) = \frac{K}{N - m + 1},$$

где  $K$  — количество паттернов, отличающихся от  $i$ -го паттерна не более чем на  $r$ .

- Вычисляется натуральный логарифм от коэффициента сходства:

$$\hat{O}^m(r) = \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_i^m(r)$$

• Увеличивается длина паттерна на единицу ( $m = m + 1$ ) и вычисляется натуральный логарифм от нового коэффициента сходства.

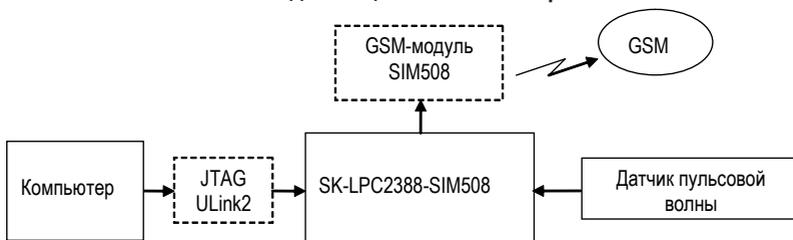
- Значение приближенной энтропии рассчитывается по формуле:

$$ApEn(m, r, N) = \hat{O}^m(r) - \hat{O}^{m+1}(r)$$

Рассчитав значение приближенной энтропии, можно оценить регулярность временного ряда и сделать выводы о функциональном состоянии человека.

Для осуществления мониторинга состояния человека-оператора предлагается использовать систему, структурная схема которой приведена на рис. 1.

**Рис.1. Макет системы дистанционного мониторинга**



Основой устройства дистанционного мониторинга является микроконтроллер, который должен осуществлять прием сигналов с датчиков, их преобразование и поступление на передающее устройство. На сегодняшний день существует множество аппаратных платформ, позволяющих реализовать перечисленные выше функции. Одно из таких решений предлагает фирма NXP на базе микроконтроллера LPC2388. Плата SK-LPC2388 позволяет принимать биосигналы с датчика пульсовой волны, осуществлять их обработку и передавать данные на сервер по беспроводному каналу GSM/GPRS при подключении к плате GSM/GPS модуля SIM508. Для программирования микроконтроллера и отладки алгоритмов плата SK-LPC2388 подключается к компьютеру через JTAG ULINK2.

Таким образом, оценка энтропии для оценки функционального состояния человека с использованием предложенного алгоритма позволяет сократить время измерений и открывает возможность создания достаточно простого устройства дистанционного мониторинга для оценки работоспособности человека-оператора.

#### Литература:

1. Методика идентификации сложных систем / А.В. Коблов, А.В. Ланцберг, Н.С. Самочетова, С.И. Суятинов // Вестник СГТУ. – 2007. – №4 (27). – С. 31-37.
2. Суятинов С.И. Информационно-аналитическая система экспресс-диагностики состояния здоровья населения / С.И. Суятинов, А.В. Ланцберг // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. трудов XI межд. научно-практич. конф. Ч.2 – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2007, С. 112-117.