

## **ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ АГЕНТ–ГРУППА–РОЛЬ**

**Н.Г. АКСАК, Н.М. КОРАБЛЕВ**

**Аннотация.** Разработана мультиагентная система удаленного оценивания состояния здоровья человека на примере мониторинга артериального давления пациента. Система позволяет экстренно реагировать на критическое изменение состояния здоровья с целью оказания скорой медицинской помощи. Предложен метод координации агентов в системе оценивания состояния человека, который позволяет для каждого зарегистрированного пациента распределить поставленные задачи между агентами для своевременного обнаружения и устранения критических состояний здоровья пациента. Для описания мультиагентной системы использована концепция агент–группа–роль, которая способствует разработке структуры адаптивной организационной модели процесса удаленного мониторинга. Анализ данных, полученных во время наблюдения за состоянием здоровья пациента, выполнен с помощью программного моделирования Leadsto Editor.

**Ключевые слова:** диагностика, удаленный мониторинг, организационная мультиагентная система, агент, группа, роль.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие технологий распределенных вычислений и средств коммуникации открывают большие возможности для повышения качества обслуживания в здравоохранении. Перспективным направлением в этой области является удаленный on-line мониторинг пациентов, способный помогать больным и врачам контролировать не только физиологическое, а также эмоциональное и поведенческое состояние здоровья, что позволяет своевременно оказывать медицинскую помощь. В таком случае для быстрого принятия решений важную роль играют скоординированные действия всех участников мониторинга.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Применению агентных технологий для решения задач диагностики, мониторинга, планирования и управления уделяется все большее внимание. В работе [1] предложена концепция планирования в сервис-ориентированных архитектурах (SOA) и агентных средах посредством их слияния, что спо-

способствует разработке автономных и распределенных систем, которые могут стандартно подключаться к широкому спектру доступных функциональных возможностей реального мира (или услуг). Указаны проблемы использования агентных технологий при решении задач реального мира в теории и на практике. Сервис определяется как семантически описанное действие агента, а также как базовый строительный блок конструкции, называемый «планом».

Несмотря на то, что разработано большое разнообразие методов и моделей описания поведения агента в чрезвычайных ситуациях, по-прежнему актуальна проблема синтеза систем, поддерживающих наилучшие стратегии эволюции агентов-спасателей в обстановках, характеризующихся высоким уровнем неопределенности. В работе [2] проведено моделирование поведения агентов-спасателей в чрезвычайных ситуациях и предложена эффективная модифицированная нечеткая процедура для динамической кластеризации толпы, определяющая оптимальные значения параметров управления агентами-спасателями (скорость движения агентов, время ожидания, распределение агентов-спасателей между кластерами толпы и др.).

Каждая фаза обработки потока пациентов в медицинском учреждении связана с документооборотом; мероприятиями, проводимыми на протяжении этого периода; консультациями у различных специалистов. В работе [3] разработана система управления потоком пациентов на основе мультиагентной технологии, основная цель которой – помощь лечащему персоналу в процессе медицинского обслуживания с возможностью быстрого доступа ко всем необходимым документам. Предложенный инструментарий может быть использован для оценки и сравнения различных клинических путей обслуживания с целью выявления возможного улучшения и оптимального потока пациентов.

В работе [4] в контексте мультиагентных систем (МАС) было введено понятие задачи непрерывного транспорта, в которой группа с несколькими агентами посещает множество фиксированных местоположений, собирает объекты и доставляет их в транспортный центр. Цель работы заключается в минимизации времени транспортировки пополняющихся во времени объектов. Представлен гибридный централизованного и распределенного подходов, позволяющий минимизировать распределение работ агентов в команде.

Механизм мониторинга размещения контента в Интернете, позволяющий агентам МАС контролировать действия других агентов во избежание нарушения норм опубликования (например, не должны размещаться на сайтах изображения, защищенные авторским правом, комментарии не должны быть оскорбительными или дискредитирующими), описан в работе [5]. Поэтому в интересах МАС проверить на соответствие норме поданную корреспонденцию до того, как она появится в Интернете. При обнаружении нарушения нормы представляется доказательство, и такая информация отбрасывается.

Применение МАС является перспективным подходом, способным реализовать функциональные возможности и услуги в сети распределения электроэнергии. С одной стороны, агент предоставляет возможности мониторинга и диагностики, необходимые для надежного функционирования компонентов в распределенной среде. С другой стороны, чтобы координи-

ровать потребление энергии, поддерживать узловые напряжения в заранее определенных границах и избегать перенапряжения оборудования, такие системы могут предоставлять услуги прогнозирования. Так, в работе [6] предлагается интеллектуальная МАС принятия решений для передачи данных в энергосистеме. Проведенные эксперименты продемонстрировали свой потенциал для принятия решений в существующей системе электросвязи.

Таким образом, современная тенденция заключается в том, чтобы двигаться в сторону решений, объединяющих распределенные системы, которые совместно управляют сложными задачами в исключительных ситуациях. В результате этой тенденции возникает потребность разработки систем обработки и анализа распределенных контролируемых данных большого объема. Из-за ограничений на время принятия решений такие системы нуждаются в инфраструктуре распределения работ участников мониторинга для оптимизации скоординированных действий групп участников во времени и пространстве.

**Цель работы** — разработка МАС процесса удаленного оценивания состояния здоровья человека на основе показаний датчиков. Для достижения поставленной цели необходимо разработать метод координации агентов системы оценивания состояния человека.

## **КООРДИНАЦИЯ АГЕНТОВ МАС ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

Мультиагентная система процесса удаленного оценивания состояния здоровья человека представляется тройкой

$$MAS = \{A, E, Res\},$$

где  $A = \{A_{user}, A_{expert}, A_{data}\}$  — множество агентов, функционирующих в среде  $E$ ;  $E$  — множество состояний среды;  $Res$  — *WEB*-портал службы здравоохранения, построенный на основе организационной модели для взаимодействия агентов.

Основными действующими лицами системы дистанционного мониторинга являются:

- пациенты, зарегистрированные на медицинском *WEB*-портале, нуждающиеся в постоянном наблюдении, и которым, возможно, необходимо оказать скорую помощь;

- высококвалифицированные врачи, зарегистрированные в учреждении здравоохранения, контролирующие состояние здоровья пациентов и назначающие соответствующее лечение;

- медсестры, сиделки и некоторые медицинские работники также зарегистрированные на медицинском *WEB*-портале, которые выполняют назначенные лечебные манипуляции наблюдаемым пациентам.

У пациентов имеются *WEB*-камера и специализированные приборы, считывающие наиболее важные показатели здоровья и соединяющиеся с мобильным устройством, которое доставляет полученные данные посредством Интернета на основной сервер.

Для описания МАС с организационной точки зрения, используется модель агент–группа–роль (АГР) [7]. Организация представлена структурой для активной деятельности и взаимодействия с помощью трех основных концепций: агент — активный «общающийся» объект, который играет роли внутри группы; группы — наборы ролей; роль — абстрактное представление функции или услуги, выполняемой агентом. Понятие роли становится независимым от любого конкретного агента, агент может играть не одну роль, а несколько агентов способны выполнять одинаковые роли. Взаимодействия определяют связь ролей между собой.

Групповая структура является набором ролей и взаимосвязей между ними, обеспечивая общий контекст и логическое объяснение. Устанавливаются определения взаимосвязей между ролями в группе, которые могут вовлекать несколько ролей в диалог. Преимуществом организационной концепции является возможность моделирования сложного неоднородного поведения системы в целом, что помогает верифицировать спроектированную систему.

Поведенческие или динамические характеристики организации выражаются во временных связях входных и выходных состояний ролей. Описание динамических характеристик выполнено с помощью языка темпоральной трассировки (Temporal Trace Language — TTL). Для выражения динамики в TTL важными понятиями являются состояния, моменты времени и трассировка. Характеристики на разных уровнях могут быть структурированы в иерархическом порядке.

Характеристики роли описывают поведение отдельной роли, передаточные характеристики представляют собой динамику внутригрупповых передач между ролями. Для ролей их характеристики вместе с передаточными характеристиками составляют групповые характеристики, которые показывают поведение группы в целом. Групповые характеристики вместе с характеристиками межгрупповых связей составляют общие характеристики организации. Использование концепции АГР позволяет проектировать и анализировать организационную модель для решения проблемы удаленного мониторинга, где имеет место непредсказуемость.

Организационная структура модели процесса обнаружения и устранения критических состояний здоровья пациента, позволяющая адаптироваться к непредвиденным обстоятельствам, отображена на рис. 1.

Организационная модель  $G$  представлена группами  $G = G_W, G_H, G_S$ , где  $G_W$  — распределение;  $G_H$  — обслуживание пациентов;  $G_S$  — решение. Роли в группах таковы:

- распределение – администратор группы, информатор пользователей, пользователь;
- обслуживание пациентов – администратор группы, участники мониторинга;
- решение – администратор группы, диспетчер, решатель.

В группе  $G_W$  осуществляется регистрация участников удаленного мониторинга посредством взаимодействия между информатором пользователя и пользователем (это происходит на медицинском WEB-портале). Агент WEB-портала соединяется с администратором лечебного учреждения, а затем администратор лечебного учреждения — со своими сотрудниками.

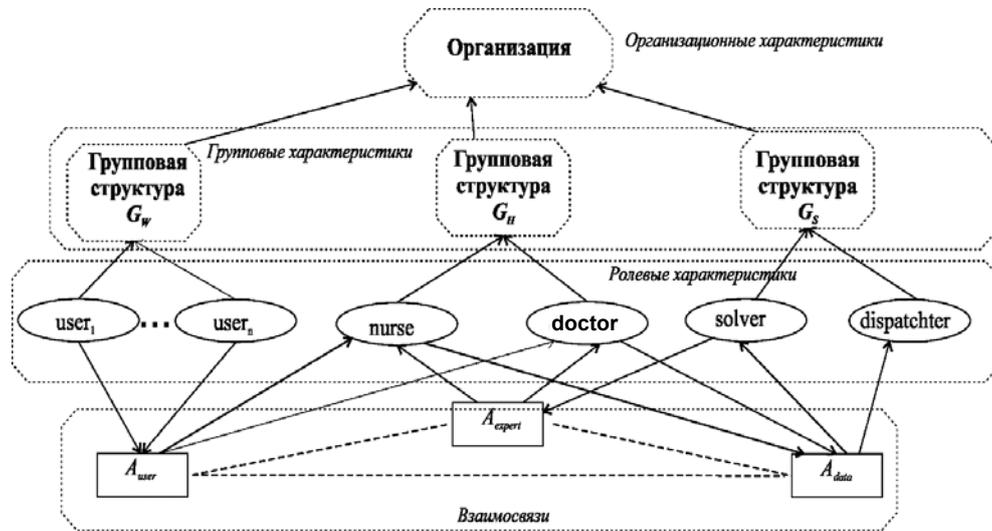


Рис. 1. Структура адаптивной организационной модели процесса удаленного мониторинга

В группе  $G_H$  организуются взаимосвязи между идентифицированными участниками удаленного мониторинга. Информатор пациента агрегирует и переводит показания измерительных приборов и изображения камеры видеонаблюдения в форму, пригодную для дальнейшей обработки. По обработанным данным врач назначает лечение пациенту и дает предписания обслуживающему персоналу.

В группе  $G_S$  диспетчер распределяет решения задач:

- обработки изображений исследуемого объекта в состоянии покоя и/или движения;
- классификации агрегированных показаний измерительных приборов и т.п.

По результатам обработки данных администратор группы определяет срочность устранения критических состояний здоровья пациента.

Для достижения целей организации поддерживается выделенный ряд контролируемых аспектов  $D = D_{H_1}, \dots, D_{H_n}$  — обработка медико-регистрационных данных и анализ изображений (распознавание жестов руки, идентификация мимики человека, распознавание кожных заболеваний и т.д.). Соблюдение своевременного обслуживания указанных аспектов может быть описано динамической характеристикой организации  $OP$ :

$$OP = \forall t: TIME \quad state(\gamma, t, O) = satisfied(combination(D_{H_1}, \dots, D_{H_n})),$$

где  $state(\gamma, t, O) \models satisfied(combination(D_{H_1}, \dots, D_{H_n}))$  определено, что в состоянии  $state(\gamma, t, O)$  в момент времени  $t$  в организации  $O$  в трассировке  $\gamma$  представлена характеристика  $satisfied(combination(D_{H_1}, \dots, D_{H_n}))$  с индексным предикатом  $\models$ , обозначающим отношение соответствия между состоянием и характеристикой состояния. Трассировка означает временную последовательность трехзначных информационных операторов системы, включая входные и выходные операторы всех агентов и их среды.

Для динамики МАС используем неформально выраженное условие:

*D3*: Каждый запрос пользователя должен быть обслужен надлежащим образом после некоторой временной задержки:

Если в момент времени  $t_1$

агент  $A_{user}$  выдает запрос на медицинскую помощь агенту  $A_{expert}$

Тогда в момент времени  $t_2$

после  $t_1$  агент  $A_{expert}$  посылает предложение агенту  $A_{user}$  подключить измерительные приборы и камеру видеонаблюдения

В момент времени  $t_3$  после  $t_2$

агент  $A_{user}$  посылает запрос агенту  $A_{data}$  на обработку агрегированной информации от подключенных устройств пользователя

В момент времени  $t_4$  после  $t_3$

агент  $A_{data}$  выдает результаты обработки агенту  $A_{expert}$

В момент времени  $t_5$  после  $t_4$

агент  $A_{expert}$  посылает сообщение о предназначении лечения агенту  $A_{user}$

Временная формализация может быть выражена как динамическая характеристика в *TTL* (со свободной переменной для трассировки  $\gamma$ ) следующим образом:

$$\forall M, t, A_{user} \exists A_{expert}$$

$$[state(M, t_1, output(A_{user})) \models communication\_from\_to$$

$$(request\_for\_medical\ care(r), A_{user}, A_{expert}) \Rightarrow [\exists t_2 > t_1$$

$$state(M, t_2, output(A_{expert})) \models communication\_from\_to$$

$$(proposal\_to\_connect\_devices(p, r), A_{expert}, A_{user})].$$

$$\Rightarrow [\exists t_3 > t_2$$

$$state(M, t_3, output(A_{user})) \models communication\_from\_to$$

$$(request\_for\_information\ processing(r, p), A_{user},$$

$$A_{data})] \Rightarrow [\exists t_4 > t_3$$

$$state(M, t_4, output(A_{data})) \models communication\_from\_to$$

$$(processing\_results(pr, r), A_{data}, A_{expert})] \Rightarrow$$

$$[\exists t_5 > t_4$$

$$state(M, t_5, output(A_{expert})) \models$$

$$communication\_from\_to$$

$$(message\_for\_purpose\_treatment(m, pr) A_{expert},$$

$$A_{user})].$$

$$]$$

Кроме требований к динамике всей МАС, выделим характеристики группового и ролевого уровней, а также адаптационные характеристики.

Для надежного функционирования МАС организация должна прикладывать определенные усилия для каждого аспекта. Необходимо постоянно контролировать, чтобы все аспекты поддерживались надлежащим образом. Чтобы обеспечить достаточные усилия в данный момент времени и при заданных условиях, для поддержки аспектов существуют соответствующие группы:

*GME 1 (D, G)*: группа прикладывает требуемое усилие.

Для всех моментов времени  $t$  усилие, приложенное группой  $G_j$  ( $j = W, H, S$ ) для аспекта  $D_{H_i}$ , является достаточным:

$\forall t: \text{TIME}, E: \text{EFFORT}$

$$[\text{state}(\gamma, t, G_j) \models \text{group\_relates\_to}(G_j, D_{Hi}) \wedge \\ \text{provides\_group\_effort\_for}(G_j, E, D_{Hi}) \\ \Rightarrow \text{state}(\gamma, t, O) \models \text{satisfies\_required\_effort\_for}(E, D_{Hi})]$$

Здесь антецедент означает, что в состоянии  $\text{state}(\gamma, t, G_j)$  в момент времени  $t$  группы  $G_j$  в трассировке  $\gamma$  представлена характеристика состояния:

$\text{group\_relates\_to}(G, X) \wedge \text{provides\_group\_effort\_for}(G_j, E, D_{Hi})$ , которая выражает, что группа  $G_j$  относится к аспекту  $D_{Hi}$  и прикладывает усилие  $E$ . Более того,

$$\text{state}(\gamma, t, O) \models \text{satisfies\_required\_effort\_for}(E, D_{Hi})$$

означает, что в момент времени  $t$  в трассировке  $\gamma$  усилие  $E$  является достаточным для удовлетворения аспекта  $D_{Hi}$ . Считается, что когда усилие, приложенное группой  $G_j$  по отношению к  $D_{Hi}$ , является достаточным для аспекта  $D_{Hi}$ , то аспект  $D_{Hi}$  удовлетворен:

$$\text{group\_relates\_to}(G_j, D_{Hi}) \wedge \\ \text{provides\_group\_effort\_for}(G_j, E, D_{Hi}) \wedge \\ \text{satisfies\_required\_effort\_for}(E, D_{Hi}) \Rightarrow \text{satisfied}(D_{Hi}).$$

Графическое представление иерархии характеристик показано в виде И/ИЛИ дерева на рис. 2.

На уровне ниже каждый отдельный аспект  $D_{Hi}$  должен быть удовлетворен, например, обработка медико-регистрационных данных  $OAP(D_{Hi})$ . За этот аспект несет ответственность лечащий состав. Характеристика группового уровня  $GP^G$  требует четкого удовлетворения усилия: требуемое усилие всегда удовлетворительно, если определяемые диапазоны измеряемых значений (кардиограмма, кровяное давление, уровень сахара, температура тела и т.д.) поддерживаются в норме на протяжении интервала времени  $d$  с начала инцидента. Другими словами, желаемое усилие констатирует, что должен присутствовать комплексный план лечения до наступления предельного срока.

С точки зрения характеристики  $AP^G$  это означает, что если комплексный план лечения не был сформирован лечащим составом с начала инцидента, то в этот момент будет запущена адаптация с целью достижения требуемого усилия, т.е. составление комплексного плана лечения. Неудача означает, что в медицинском учреждении нет роли, которая бы  $AP^R$  сформировала корректный план лечения. Характеристика предполагает наличие адаптированного медицинского отделения с ролями, которые выполняют желаемое усилие. Чтобы сделать это изменение возможным, адаптеры (агенты  $A_{\text{expert}}$ ) в группе *ReformGroup* используют стандартное

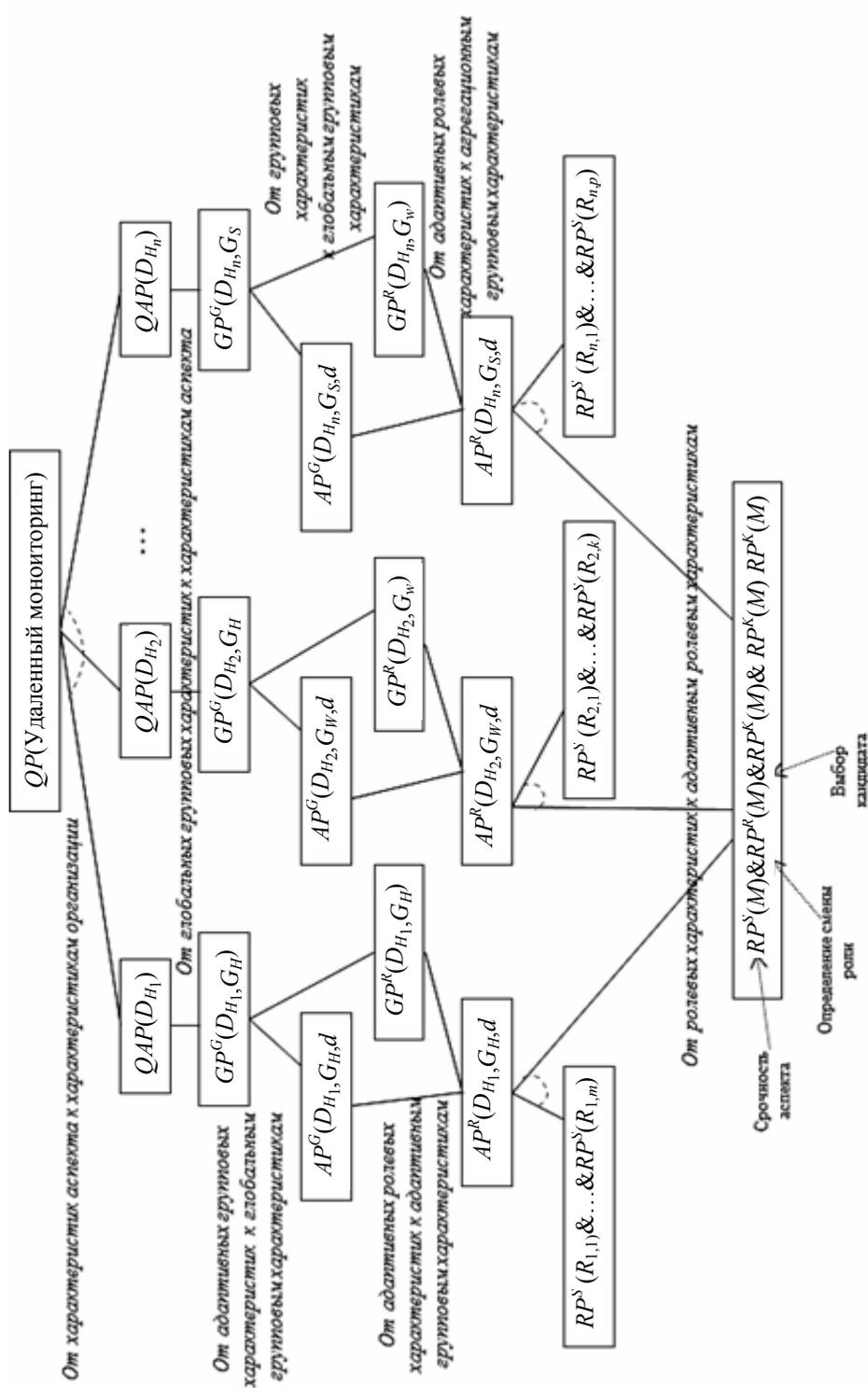


Рис. 2. Иерархия характеристик организации

определение отношения срочности для лечащего состава, выражающее, что аспект обработки медико-регистрационных данных имеет срочность в случае отсутствия комплексного плана лечения на протяжении желаемого интервала времени  $d$ .

Для каждого из аспектов существует одна из групп  $G_H, G_W, G_S$  для обеспечения усилий поддержки аспекта в данный момент времени и при данных условиях. Характеристика  $GP^G(D_{H_i}, G_H)$  означает: группа медицинского учреждения прикладывает требуемое усилие. Для приложения требуемого усилия необходимо, чтобы соответствующие роли группы приложили достаточное совместное усилие  $GP^R(D_{H_i}, G_H)$ .

На следующем уровне приведена ролевая характеристика  $RP^S(R_{i,j})$ , которая обозначает, что активные роли выполняют определенный объем работ, срочность аспекта  $RP^S(M)$ ;  $RP^R(M)$  — определение смены роли;  $RP^K(M)$  — выбор кандидата;  $RP_r^K(M)$  — выбор кандидата – запрос,  $RP_q^K(M)$  — выбор кандидата – ответ.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАС УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТА

Для того чтобы показать, как МАС функционирует с использованием организационной модели, выполнено моделирование, основанное на наблюдениях за пациентом по показаниям датчиков [8]. Адаптационные процессы моделировались как характеристики низшего уровня (например, ролевые характеристики), которые были переведены в исполнимое подмножество  $TTL$ , называемое *Leadsto* [9]. Упрощенный формат *Leadsto* позволяет моделировать прямые временные зависимости между двумя характеристиками состояния следующим образом. Пусть  $\alpha$  и  $\beta$  — характеристики состояния конъюнкции литералов (литерал — это атом или согласование атома) и  $e, f, g, h$  — неотрицательные вещественные числа. В языке *Leadsto* выражение  $\alpha \rightarrow_{e,f,g,h} \beta$  означает: что если характеристика состояния  $\alpha$  находится на определенном интервале времени с продолжительностью  $g$ , то после некоторой задержки (между  $e$  и  $f$ ) характеристика состояния  $\beta$  будет находиться на определенном интервале времени длиной  $h$ .

Реализована частная постановка задачи — наблюдение за уровнем артериального давления пациента. Для моделирования и реализации использован язык *Leadsto*, а также *TTL Editor* для проверки правильности моделирования.

Для контроля артериального давления введены его параметры: `high_stress_lvl`, `normal_stress_lvl`, `low_stress_lvl`, а также действия, которые необходимо выполнить: `home_care`, `call_amb`, `do_not_call_amb`. Задано время для конечного моделирования и добавлены интервалы для каждой из указанных переменных (например, 10 единиц), а также начало и конец следа (рис. 3). Конец следа обозначает начало последствия для данной переменной. Переменная `high_stress_lvl` сигнализирует, что нужно оказывать скорую

помощь пациенту. По значениям темпоральных переменных определяется истинность выражения продолжительностью  $g$  (рис. 3).

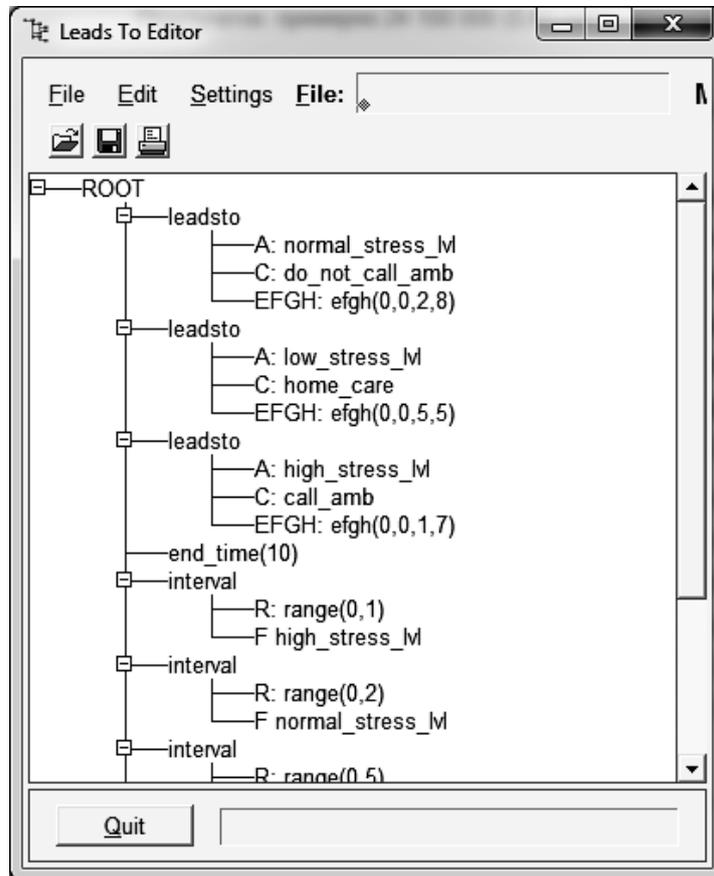


Рис. 3. Временные интервалы для всех LEADSTO-условий

Для проверки корректной работы спецификации запускается *Leadsto Simulation Tool*. При вводе спецификации без ошибок результат представлен на рис. 4 и 5.

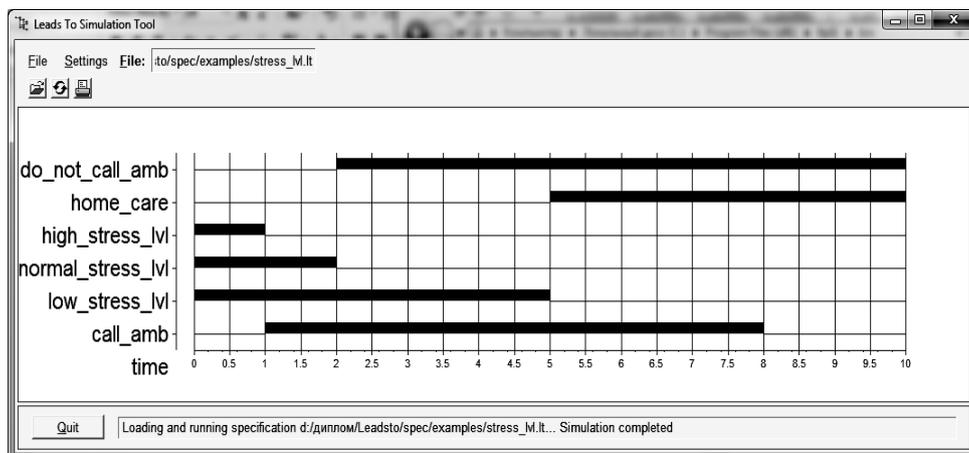


Рис. 4. Успешно выполнена спецификация (1)

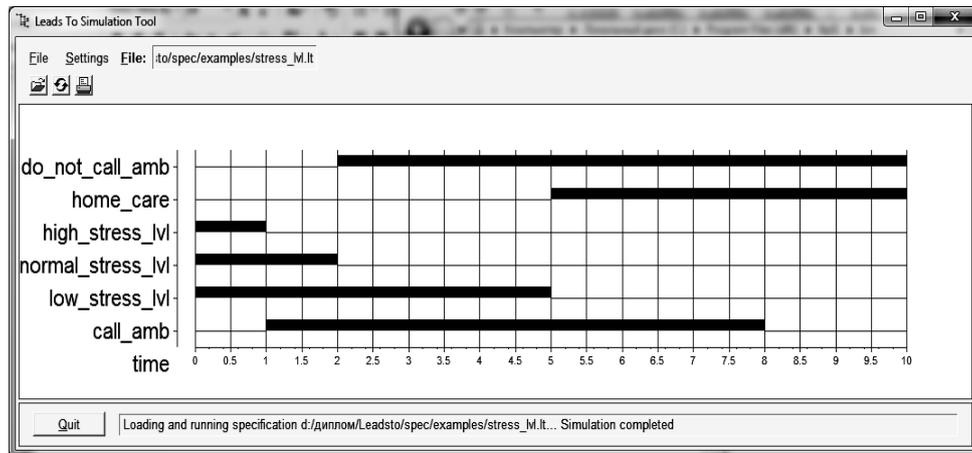


Рис. 5. Успешно выполнена спецификация (2)

Таким образом, по результатам проведенной работы была разработана система удаленного наблюдения за состоянием здоровья пациента, которая позволяет своевременно оказывать медицинскую помощь.

## ВЫВОДЫ

Разработана система удаленного мониторинга артериального давления пациента на основе показаний датчика, которая позволяет своевременно оказать скорую медицинскую помощь. Такая система реализована благодаря предложенному методу координации агентов в системе оценивания состояния человека, который дает возможность для каждого зарегистрированного пациента распределить поставленные задачи между агентами для своевременного реагирования на критическое изменение его состояния.

Динамическое распределение ролей между агентами системы удаленного мониторинга способствовало адаптации для управления такими инцидентами, как мониторинг состояния здоровья, постановка диагноза и медицинская помощь. Использование предложенного метода позволит повысить эффективность совместных действий участников удаленного мониторинга пациента на основе медико-регистрационной информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Lützenberger M.* Multi-Agent System in Practice: When Research Meets Reality / M. Lützenberger // Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems. — International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. — 2016. — P. 796–805.
2. *Beklaryan A.L.* Simulation of Agent-rescuer Behaviour in Emergency Based on Modified Fuzzy Clustering / A.L. Beklaryan, A.S. Akopov // Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems. — International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. — 2016. — P. 1275–1276.

3. *Rosati S.* A multi-agent system for monitoring patient flow / S. Rosati, A. Tralli, G. Balestra // *Studies in health technology and informatics.* — 2012. — Т. 192. — P. 944–948.
4. *Wang C.* Multi-agent continuous transportation with online balanced partitioning / C. Wang, S. Liemhetcharat, K.H. Low // *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems.* — International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. — 2016. — P. 1303–1304.
5. *Alechina N.* Decentralised Norm Monitoring in Open Multi-Agent Systems / N. Alechina // *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems.* — International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. — 2016. — P. 1399–1400.
6. *Li W.* Intelligent Multi-Agent System for Power Grid Communication / W. Li // *Region 10 Conference (TENCON).* — IEEE. — 2016. — P. 3386–3389.
7. *Ferber J.* A meta-model for the analysis and design of organizations in multiagent systems / J. Ferber, O. Gutknecht // *Proceedings of ICMAS'98, IEEE Computer Society Press.* — 1998. — P. 128–135.
8. *Axak N.G.* Development of multi-agent system of neural network diagnostics and remote monitoring of patient / N.G. Axak // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* — Vol. 4, N 9(82). — 2016. — P. 4–11.
9. *Bosse T.* LEADSTO: a Language and Environment for Analysis of Dynamics by SimulaTiOn / T. Bosse, C.M. Jonker, L. van der Meij, J. Treur // *In: Proceedings of MATES' 05. LNAI 3550. Springer Verlag, 2005.* — P. 165–178.

Поступила 06.08.2018