

Никитаев В. Г., Проничев А. Н., Власов В. А., Власова С. В.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСА АТЛАНТ

Приводится описание разработанных мер повышения качества комплекса Атлант и надежности его работы.

Ключевые слова: *надежность, интенсивность отказов, поддержка принятия решений, качество онкологической диагностики.*

Для решения задач повышения качества диагностики онкологических заболеваний создана телемедицинская сеть «РОСАТОМ-ФМБА-МИФИ» с центром управления на кафедре «Компьютерные медицинские системы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Телемедицинская сеть построена на базе высокотехнологичных комплексов онкологической диагностики Атлант и объединяет многочисленных абонентов на территории России, таких как медсанчасти (МСЧ), научные центры, клинические больницы [1]. В диагностическую сеть включены: НИЯУ МИФИ, Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина РАМН, ЦМСЧ №141 (г.Удомля, Калининская АЭС), МСЧ №135 (г. Десногорск, Смоленская АЭС), МСЧ №125 (г. Курчатова, Курская АЭС), МСЧ №118 (г. Полярные Зори, Кольская АЭС), МСЧ №33 (г. Нововоронеж, Нововоронежская АЭС), ЦМСЧ №38 (г. Сосновый Бор, Ленинградская АЭС), Саратовский медицинский центр ФМБА(г. Балаково, Балаковская АЭС). Планируется дальнейшее расширение телемедицинской сети по всей территории РФ путем введения новых серверных мощностей и подключения дополнительных абонентов к сети.

Комплекс Атлант является важнейшим инструментом для реализации технологии поддержки принятия врачебных решений на базе экспертных систем и дистанционного консультирования, а также своевременной и оперативной поддержки медицинского персонала необходимыми данными, которые могут быть затребованы, например, в процессе проведения хирургической операции. При участии специалистов Российского онкологического центра им. Н.Н. Блохина РАМН, Клинических больниц № 83 и № 85 и др. в рамках комплекса сформирована уникальная эталонная база знаний, содержащая цветные изображения препаратов опухолей различных органов и соответствующие им стандартизованные описания.

Экспертные системы основаны на базе данных, которая хранится на серверах в центре управления телемедицинской сетью. При этом каждое медицинское учреждение имеет свою копию базы. Это связано с тем, что прямое обращение к базе значительно повышает нагрузку на сеть и, следовательно, снижает скорость работы. Обращение потребителей к архиву консультаций должно происходить с минимальными временными затратами и минимальной нагрузкой на сеть. Поэтому формат оцифрованных изображений (разрядность, разрешение, сжатие и т.д.) определяется требуемым качеством изображения, достаточным для достоверной диагностики. Избыточность передаваемых данных отрицательно сказывается на скорости передачи и времени, которое затрачивается на консультацию. Особо остро эта проблема стоит во время экспресс-диагностики при операциях, когда хирург ждет ответа врача-диагноста для определения объема и тактики хирургического вмешательства.

Материалом для создания базы знаний послужили многочисленные клинические случаи, подробно описанные высококвалифицированными врачами (экспертами), что позволяет рядовым врачам при работе с комплексом Атлант опираться на опыт ведущих специалистов страны при принятии ответственных диагностических решений.

В рамках системы реализована поддержка принятия врачебных решений при гистологической диагностике, построенной на базе автоматизированных систем обработки изображений, которая оказывает незаменимую помощь при постановке диагноза. Диагностический комплекс Атлант, в котором реализованы модели компьютерного макро- и микроанализа, технологии оперативной передачи запрашиваемых данных и дистанционного консультирования, успешно эксплуатируется более 10 лет в клинической практике.

К системам ответственного назначения, к классу которых относится Атлант, предъявляются высокие требования к качеству и надежности функционирования. Выполнение данных требований обеспечивается подбором соответствующих программно-аппаратных средств и архитектуры системы, применяемыми протоколами передачи данных. Среди опасных факторов, негативно влияющих на работоспособность системы, особо следует выделить угрозы, связанные с потерей или искажением передаваемых данных, что требует проведения ряда дополнительных мероприятий по повышению надежности.

В качестве среды передачи данных в комплексе Атлант используется широко применяемая глобальная сеть Интернет. Данное средство имеет ряд недостатков, таких, как зависимость от провайдеров, возможное падение скорости передачи данных при перегрузках сети, подверженность несанкционированному доступу и др. Последний вопрос крайне актуален в настоящее время. При полностью открытом обмене возникает проблема достоверности получаемой информации. Оперативная медицинская информация должна быть защищена. По этой причине возникла необходимость применения специальных методов защиты медицинских данных. Разработанный программный продукт позволяет решать следующие задачи:

- проверка и подтверждение подлинности источника сообщения;
- конфиденциальность и целостность данных (т.е. гарантия невозможности несанкционированного изменения информации);
- аутентификация (подтверждение подлинности сторон).

Комплекс Атлант обеспечивает проведение оперативных дистанционных медицинских консультаций в реальном времени и с должным качеством связи, поэтому должен обладать высокой отказоустойчивостью и способностью быстро восстанавливаться после сбоев. За отказы системы будем принимать любые события, приводящие к невозможности передачи изображения, а также

частичной или полной потери связи. Это могут быть отказы аппаратуры, обеспечивающей регистрацию оптического изображения, формирование цифровых данных и их обработку, сбои в каналах передачи данных и др. Подобные отказы в медицинской оперативной практике являются недопустимыми.

В связи с этим для повышения надежности разработчиками рассматриваемой системы была применена специальная программа мониторинга сети, которая предоставляет возможность дистанционного анализа неполадок и быстрого реагирования на них. Как показала практика эксплуатации телемедицинской сети «Росатом-ФМБА-МИФИ», удаленные от центра управления узлы сети зачастую имеют ограниченную пропускную способность интернет-каналов. В некоторых случаях скорость передачи каналов не превышает 256 Кб/с и может опускаться даже ниже. Задача программы мониторинга состоит в оперативном отслеживании состояния сети и нахождении неисправностей (например, проблем, вызванных перегруженными и/или отказавшими серверами, другими устройствами или сетевыми соединениями, периодической потери соединения, снижении производительности сети, длительной загрузки серверов и др.). Программа мониторинга является эффективным инструментом для управления компьютерной сетью и выполняет ряд важных функций, в их числе:

- контроль и мониторинг ресурсов компьютерной сети;
- выделение необходимой памяти для выполнения вычислительных задач;
- управление конфигурацией сети;
- диагностика неисправностей.

Внедрение компьютерного комплекса поддержки принятия решений при проведении анализа и постановке диагноза неизбежно поднимает вопрос точности рекомендуемых решений автоматизированных систем диагностики. Поскольку правильное описание микроскопического препарата в сильной мере зависит от качества цифрового изображения, особое внимание было уделено разработке цветовой калибровки комплекса, позволяющей минимизировать погрешности при автоматизированной выдаче экспертной информации. Для этой цели медицинским персоналом совместно с техническими специалистами осуществлен выбор специального оборудования, которое включает микроскопы, блоки управления микроскопами, фотоаппараты, платы захвата, видеокарты, устройства сопряжения. Написаны специальные программы управления камерами и блоками управления микроскопами, библиотеки программ для анализа изображений. Для автоматизированной диагностики разработаны алгоритмы принятия решений и создано специальное программное обеспечение, позволяющее представить изображения в нужном формате и качестве. Адекватность работы автоматизированной системы диагностики была подтверждена экспертами на практике, а также аналитически [2]. Проведенный эксперимент по оценке ошибок в диагностике с применением комплекса Атлант показал, что с применением комплекса молодые врачи допускали ошибку в сложных случаях диагностики лишь в 5% случаев, в то время как при самостоятельно проводимой диагностике (без применения комплекса) ошибки в сложных случаях составили 25%.

Анализ многолетней эксплуатации телемедицинской сети «Росатом-ФМБА-МИФИ», базирующейся на комплексах Атлант и функционирующей с 2000г. позволил выявить имеющиеся недостатки системы и принять меры по недопущению в будущем возникавших в ходе работы сбоев.

Важной характеристикой системы является вероятность отказа проведения сеанса для конкретного пользователя. Для оценки этой вероятности будем использовать широко применяемый экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы. Поэтому для начала оценим интенсивность отказа для комплекса Атлант.

В качестве исходных данных для расчетов примем следующие: за весь период работы было проведено 2760 сеансов связи с пользователями, при этом три сеанса оказались несостоявшимися по следующим причинам:

- один из узлов сети пострадал от вирусной атаки (в настоящее время установлена соответствующая защита и подобные отказы отсутствуют);
- другой отказ был вызван механическими повреждениями кабельного разъема из-за неаккуратного обращения с оборудованием (вина пользователя);
- третий отказ произошел по причине нарушения контакта в плате управления.

Так как в результате проведенных усовершенствований в сети причина первого вида сбоя устранена, будем считать, что для сети, соответствующей современному состоянию, за время эксплуатации произошло два фактически значимых сбоя. Ввиду независимости работоспособности отдельных узлов в сети по имеющимся данным (результатам эксплуатации) можно дать оценку интенсивности отказов комплекса Атлант для отдельного пользователя:

- проводилось $N=2760$ испытаний сеансов связи (время одного испытания $T = 1$ час);
- два сеанса ($n=2$) оказались неудачными.

В условиях экспоненциального закона распределения времени отказов оценка $\hat{\lambda}$ параметра λ получается методом максимального правдоподобия [3]:

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i + (N - n)T},$$

- где t_i – наблюдаемые в эксперименте времена отказов, $i = 1, 2, \dots, n$,
 N – объем выборки,
 T – продолжительность испытаний.

В нашем случае численное значение интенсивности отказов λ_0 , полученное по опытным данным, равно $\lambda_0 = 0,0007$ (1/час).

Вероятность отказа P системы при данном значении λ за 1 час будет равна:

$$P_T = 1 - \exp[-\lambda T] < 1 - \exp[-0,7 * 10^{-3}] \approx 0,0007.$$

Для построения верхней доверительной границы параметра λ учтем, что число n появляющихся отказов в работе системы распределено согласно биномиальному закону, который хорошо аппроксимируется законом Пуассона с параметром $\mu = NP$. Для величины μ верхняя доверительная граница μ_B определяется из уравнения [4]:

$$\sum_{k=1}^n \frac{\mu_B^k}{k!} \exp\{-\mu_B\} = \alpha,$$

где α – уровень значимости.

Данная граница вычислена и равна $\mu_B = 5,3$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$ и числе отказов $n = 2$. Это значение μ_B соответствует случайному событию, которое заключается в том, что это событие происходит при большом числе испытаний $N = 2760$ и его можно рассматривать как сумму мало-

вероятных независимых событий, закон распределения числа появления каждого из них также является законом Пуассона с параметром $\mu_1 = \lambda T$. Закон Пуассона является воспроизводящим [5] по параметру μ , поэтому $\mu = N\mu_1$. Поскольку между величинами μ_1 и μ имеется взаимно однозначное соответствие $\mu_1 = f(\mu) = \frac{\mu}{N}$, то верхняя доверительная граница μ_{1B} для параметра μ_1 равна

$$\mu_{1B} = f(\mu_B) = \frac{\mu_B}{N} \approx 2 * 10^{-3} \text{ и } \lambda_{1B} = 2 * 10^{-3} \text{ (1/час.)}$$

Важно отметить, что сбои со стороны центра управления телемедицинской сетью «Росатом-ФМБА-МИФИ», находящегося на кафедре «Компьютерные медицинские системы» НИЯУ МИФИ за весь период десятилетней эксплуатации не наблюдались. Поэтому повышение надежности работы комплексов Атлант возможно за счет предупреждения отказов оборудования пользователей.

Литература

1. **Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Бердникович Е.Ю., Чистов К.С.** Стратегия построения высокотехнологичных комплексов компьютерной микроскопии: опыт разработки и внедрения в атомную промышленность и медицину. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 10, 2011, с. 1-4.
2. **Власов В.А., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Чистов К.С.** Построение статистических тестов для испытания автоматизированных медицинских систем анализа микроскопических изображений. Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – № 4. – 2008.
3. **Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.** Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1964.
4. **Власов В.А.** Оценки и доверительные интервалы. М.: МИФИ, 2006.
5. **Рао С.** Линейные статистические методы и их применение. «НАУКА». Главная редакция физико-математической литературы. Москва 1968.