Глашев Р. М.
Glashev R.M.

аспирант, младший
научный сотрудник
Института конструкторско-технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

Шептунов С. А.
Sheptunov S. A.

доктор технических
наук, профессор,
директор Института
конструкторско-технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

Глашев Т. Ж.
Glashev T.Zh.

хирург экстренной службы,
Государственное
бюджетное учреждение
здравоохранения
«Межрайонная
многопрофильная
больница»
г. Нарткала,
Российская Федерация

УДК 004.81

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В РОБОТ-АССИСТИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ

В настоящее время происходят существенные изменения во всех аспектах профессиональной жизнедеятельности, связанные с новейшими концепциями автоматизированных и роботических решений. Применение роботов в хирургии стало неотъемлемой частью медицинской практики, что подтверждается ростом количества операций, производимых при помощи робот-ассистированных комплексов в гинекологии и урологии (по данным Intuitive Surgical). Тенденция использования роботических технологий в хирургии обусловлена увеличением точности хирургических манипуляций при минимальном травмировании тканей и соседних органов. При этом у хирургических инструментов увеличено количество степеней свободы, а сама операция снижает общую кровопотерю пациента. Но при этом вероятность формирования ошибочного заключения растет при наличии субъективных факторов, к которым можно отнести объем, интенсивность, устойчивость внимания врача при выполнении операции управления камерой.

Одним из направлений повышения эффективности работы оператора-хирурга является включение в состав инструментальных средств визуализации отдельной компьютерной системы поддержки принятия решений. Она должна реализовывать часть действий, обычно выполняемых врачом: выявлять признаки патологий по изображению, формировать выводы по совокупности найденных патологий, визуально выделять область на изображении.

Актуальным становится вопрос внедрения автоматического или интерактивного распознавания отдельных областей на предварительно улучшенном изображении для автоматизации работы хирурга. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненно важного врачебного заключения ограничен.

Для исследования возможностей сверточных нейронных сетей в распознавании болезней органов малого таза была разработана автоматизированная система, реализующая модифицированную архитектуру сверточной нейронной сети. Предложена методика обучения сети

с использованием размеченных изображений с выделенными областями патологий. Полученные результаты работы системы говорят о большом потенциале использования искусственных нейронных сетей в качестве инструмента поддержки принятия решений в области робот-ассистированной хирургии. Использование большего количества обучающих выборок будет повышать качество сегментации изображения.

Ключевые слова: Робот-ассистированная хирургия, система визуализации, робот, медицина, интеллектуальные системы, методы сегментации, распознавание, искусственные нейронные сети, обучение, выборка.

USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO MACHINE LEARNING IN ROBOTIC SURGERY

Significant changes occur in all aspects of professional life at the present time. This is due to the new concepts of automated and robotic solutions. The use of robots in surgery has become a big part of medicine. This is confirmed by the increase in the number of operations that are performed in gynecology and urology with robot-assisted complexes. The tendency to use robotic technologies in surgery is due to an increase in the accuracy of surgical manipulations with minimal injury to the tissues and neighboring organs.

The number of degrees of freedom is increased in surgical instruments, and the operation reduces the total blood loss of the patient.

But at the same time, the probability of forming an erroneous conclusion grows in the presence of subjective factors, which include the volume, intensity, sustainability of the doctor's attention when performing a camera control operation.

One of the ways to increase the efficiency of the operator-surgeon is to include a separate computer-based decision support system in the visualization toolkit. It should implement part of the actions usually performed by the doctor: identify signs of pathologies in the image, form conclusions on the set of pathologies found, visually highlight the area in the image.

A pressing issue is the introduction of automatic or interactive recognition of individual areas in a pre-enhanced image to automate the work of the surgeon. This is especially significant when the time limit for making a vital medical conclusion is limited. The automated system was developed to study the capabilities of convolutional neural networks for the recognition of diseases of the pelvic organs. The system implements a modified convolutional neural network architecture.

The network training method uses tagged images with selected areas of pathologies. The results of the work of the system indicate the great potential of using artificial neural networks as a tool to support decision-making in the field of robot-assisted surgery. Using more training samples will improve the quality of image segmentation.

Key words: robotic surgery, visualization system, robot, medicine, intelligent systems, segmentation methods, recognition, artificial neural networks, training, sampling.

Введение

В настоящее время происходят существенные изменения во всех аспектах профессиональной жизнедеятельности, связанные с новейшими концепциями автоматизированных и роботических решений. Применение роботов в хирургии стало неотъемлемой частью медицинской практики, что подтверждается ростом количества операций, производимых при помощи робот-ассистированных комплексов в гинекологии и урологии (по данным Intuitive Surgical).

Тенденция использования роботических технологий в хирургии обусловлена увеличе-

нием точности хирургических манипуляций при минимальном травмировании тканей и соседних органов. При этом у хирургических инструментов увеличено количество степеней свободы, а сама операция снижает общую кровопотерю пациента.

Общая структурная схема комплекса для робот-ассистированной хирургии состоит из манипуляторов, на концах которых закреплены медицинские инструменты, управляет которыми оператор-хирург с помощью контроллеров (рисунок 1).

Рисунок 1. Структурная схема робот-ассистированного комплекса

За счет использования трехмерной системы визуализации камеры изображение получается с эффектом реальной глубины.

Таким образом, врачу предоставляется первичная информация в виде фрагментов изображения внутренней поверхности органов, служащих основой постановки врачебного заключения о необходимости вырезания того или иного участка органа. Естественно, что формирование заключения осуществляется лишь на основе субъективных факторов восприятия, представления, понимания и познания оперирующего хирурга. Необходимо учитывать, что происходит это в рамках рекомендуемых диагностических минимумов выявления того или иного заболевания.

Но при этом вероятность формирования ошибочного заключения растет при наличии субъективных факторов, к которым можно отнести объем, интенсивность, устойчивость внимания врача при выполнении операции управления камерой.

Одним из направлений повышения эффективности работы оператора-хирурга является включение в состав инструментальных средств визуализации отдельной компьютерной системы поддержки принятия решений. Она должна реализовывать часть действий, обычно выполняемых врачом: выявлять признаки патологий по изображению, формировать выводы по совокупности найденных патологий, визуально выделять область на изображении.

Автоматизация данных операций с использованием современных алгоритмов обучения способны кардинально изменить существующие процессы сбора, систематизации и обработки данных. Также существенно снизится влияние на качество проводимых операций

человеческих факторов (уменьшения объема внимания, устойчивости и т.д.), так как ряд операций будет передан машине. Важной составляющей этих процессов является не экстенсивное наращивание мощностей вычислительной техники, а ее интеллектуализация – создание принципиально новых программно-аппаратных комплексов. Основываться они должны на совершенствовании методов и средств сбора и обработки визуальной информации.

Актуальным становится вопрос внедрения автоматического или интерактивного распознавания отдельных областей или объектов на предварительно улучшенном изображении для автоматизации работы хирурга. Автоматизация работы хирурга будет сводиться к тому, что в рабочем поле, в котором проводится операция, система поддержки принятия решений будет обеспечивать быстрое, своевременное и точное получение информации о состоянии внутренних органов, присутствуют ли на них какие-либо патологии. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненно важного врачебного заключения ограничен.

Зачастую отсутствуют какие-либо автоматизированные средства обработки либо анализа изображения на экране, приходится ограничиваться визуализацией. Полученные при этом большие объемы информации могли бы быть обработаны современными универсальными математическими методами, что позволило бы их типизировать, стандартизировать и формализовать. Стоит учитывать, что именно широкое использование математических методов позволит совершенствовать качество научных исследований в медицине.

Согласно современным представлениям диагностирования патологий и последующее решение о тактике лечения любого заболевания должны быть основаны на целом комплексе параметров, включая топографические и визуально-прогностические характеристики. Изображение с камеры, являясь источником этих параметров, обеспечивает информацию об анатомическом и функциональном состояниях органа.

Важным фактом является то, что в настоящее время методы обработки динамических изображений в своем развитии отстают от методов обработки статических изображений. Это связано с тем, что остаются открытыми вопросы вычисления движения и определения динамических параметров движущихся объектов.

Учитывая специфику сегментации изображения в робот-ассистированной хирургии, необходимо эффективное применение динамических методов распознавания последовательностей изображений, которые позволят одновременно учитывать несколько кадров исходной последовательности. Повышение мощности вычислительной техники позволяет обрабатывать большие потоки данных в реальном времени. В этой связи представляется актуальной разработка автоматизированных методов обработки динамических медицинских изображений на основе динамических методов, которые могли бы эффективно решать задачи распознавания патологий на внутренних органах во время проведения роботехирургических операций.

В общем случае обработку и анализ изображения медицинских изображений можно представить в виде последовательности этапов. При этом подразумевается использование больших аппаратных мощностей при обработке сложных аналитических подходах при сегментации и анализе.

У медицинских изображений имеются определенные свойства, затрудняющие их анализ, такие как:

- 1) наличие шумовой составляющей;
- 2) большое количество анатомических элементов на изображении;
- 3) нечеткость границ их визуализации;
- 4) неравномерность распределения интенсивностей сигнала.

На этапе предварительной обработки данные проблемы решаются при помощи удаления шума и улучшения четкости визуализации анатомических и патологических структур с использованием современных методов фильтрации, которые удаляют шумы, не размывая границы исследуемой патологии.

В процессе сегментации изображение разбивается на области с общими признаками. Конечный результат анализа изображения зависит от качества сегментации, так как существующие методы работают лишь для двумерных изображений.

В настоящее время имеется большое количество методов сегментации изображений, развивающихся благодаря новым алгоритмическим и математическим методам в теоретической информатике. Несмотря на этот факт, эффективность данных методов не всегда показывает желаемые результаты. Особняком стоит использование искусственных нейронных сетей – метода с огромным потенциалом, который в последнее время завоевывает все большую популярность.

Главным преимуществом называется обучаемость нейронных сетей. Под этим термином понимается адаптация нейронной сети к различным изменениям, что в традиционных алгоритмах ведет к необходимости пересчета.

Более того, отсутствие явных закономерностей или входных данных не препятствуют нейронной сети для нахождения решения, что в условиях поставленной задачи является однозначным преимуществом. Причем не обязательно устанавливать взаимоотношения между фотографиями заранее – сеть изучает взаимосвязи на уже размеченных фотографиях.

Необходимо понимать, что основной задачей при использовании искусственных нейронных сетей является подбор верной модели, которая будет предлагать нам ожидаемые результаты при решении конкретной поставленной задачи. К примеру, сети прямого распространения имеют ограничения по наличию других объектов в кадре при распознавании, несмотря на то, что способны выполнять сложные задачи. Это ведет к тому, что сети перегружаются и выполняют некор-

ректное распознавание, а соответственно и сегментацию.

Для преодоления проблемы перегруженности нейронной сети при большом количестве объектов в кадре используются сверточные нейронные сети. Их особенность заключается в том, что исходное изображение подается на вход не целиком, а разделенным на определенные части, что ведет к тому, что последовательно уменьшается размер изображения за счет выделения наиболее характерных признаков. Получается новый уровень абстракции за счет использования карт признаков, на первый взгляд представляющие собой искаженные размытостью копии начального изображения. Нейронная

сеть же воспринимает их как характерные признаки с содержанием инвариантов. Чередование субдискретизирующих, сверточных и полносвязных слоев приводит к тому, что одна сеть содержит в себе три различные архитектуры. Такое алгоритмическое решение ведет к тому, что достигается инвариантность к искажениям и физическим сдвигам исходного изображения, и вводятся понятия локальных полей восприятия, разделяемые веса и пространственная субдискретизация. На рисунке 2 приведена архитектура сверточной нейронной сети, которая будет использоваться для решения поставленной задачи.

Рисунок 2. Архитектура сверточной нейронной сети.

Топология изображения будет сохраняться от слоя к слою за счет того, что на вход одного нейрона будут подаваться определенные области, например, слои. Таким образом описывается понятие локальных полей восприятия.

Идея разделяемых слоев заключена в использовании малого количества весов для большого количества связей. Пространственная субдискретизация описывается уменьшением пространственной размерности изображения.

Для обучения выбранной архитектуры нейронной сети необходимо использовать предварительно размеченную базу изображе-

ний внутренних органов с заранее выделенными областями патологии. В качестве примера использовались изображения органов малого таза при лечении воспалительных заболеваний верхних отделов половых путей. На рисунке 3 показан один из элементов, взятый в качестве обучающей выборки, на котором выделена область пиовара – яичник, заполненный гноем. Кроме того, обучение сети проводилось и на определение сактосальпинксов – мешотчатых образований маточных труб.

Рисунок 3. Пример обучающей выборки с размеченной областью

Отмечается, что модель сверточных нейронных сетей наиболее близка к строению человеческого мозга по сравнению с другими архитектурами. Это и делает данный подвид сетей предпочтительным для задач сегментации и распознавания. Обособленное извлечение признаков изображения приводит к устойчивости сети и инвариантности в изо-

бражении. Универсальность данной архитектуры сетей позволяет дополнять либо расширять ее с использованием других алгоритмов и методов из теории искусственных нейронных сетей либо из смежных областей.

Результаты, которые показывает обученная нейронная сеть при испытании, показаны на рисунке 4.

Рисунок 4. Результат работы обученной нейронной сети

Выводы

Для исследования возможностей сверточных нейронных сетей в распознавании болезней органов малого таза была разработана автоматизированная система, реализующая модифицированную архитектуру. Предложена методика обучения сети с использованием размеченных изображений с выделенными областями патологий.

Полученные результаты работы системы говорят о большом потенциале использования искусственных нейронных сетей в качестве инструмента поддержки принятия решений в области робот-ассистированной хирургии. Использование большего количества обучающих выборок будет повышать качество сегментации изображения.

Стоит отметить, что существует взаимовлияние развития медицинской диагностики, интеллектуальных систем распознавания и сегментации. Совершенствование методики обучения позволяет существенно повысить эффективность распознавания системами искусственного интеллекта на базе нейронных сетей. С другой же стороны, развитие

теоретических аспектов теории искусственных нейронных сетей позволяет более глубоко понимать патологические отклонения и разрабатывать более совершенные методы лечения. Применение интеллектуальных систем в робот-ассистированной хирургии – очень перспективное направление.

Список литературы

1. Барский А.Б. Логические нейронные сети. – М.: Бином, 2007.
2. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
3. Поршнев С.В. Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений / С.В. Поршнев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2008. — № 3. — С. 163-172.
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.; Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
5. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений; Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — Кн. 2. — 480 с.
6. Форсайт, Дэвид А., Понс, Жан. Компьютерное зрение. Современный подход; Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2004. — 928 с.

References

1. Barskij A.B. Logicheskie nejronnye seti. M.: Binom, 2007.
2. Gonsales, R.S. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij / R.S. Gonsales, R.EH. Vuds. — M.: Tekhnosfera, 2005. — 1072 s.
3. Porshnev, S.B. Universal'naya klassifikaciya algoritmov segmentacii izobrazhenij / S.B. Porshnev, A.O. Levashkina // Zhurnal nauchnyh publikacij aspirantov i doktorantov. — 2008. — №3. — S. 163-172.
4. Hajkin, Sajmon. Nejronnye seti: pol'nyj kurs, 2-e izd.: Per. s angl. — M.: Vil'yams, 2006. — 1104 s.
5. Prehtt, U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij: Per. s angl. — M.: Mir, 1982. — Kn. 2/ — 480 s.
6. Forsajt, Devid A., Pons, ZHan. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyj podhod. Per. s angl. — M.: Vil'yams, 2004. — 928 s.6.