

ров в районах повышенной горимости имеет своей причиной молнии.

Эффективность данного способа тушения в значительной мере зависит от точности прогноза конвективной облачности в зоне пожара. Для этого используют многозональные снимки, ежедневно получаемые с искусственных спутников Земли. По этим снимкам также можно обнаруживать скопления грозовой облачности, являющейся основной причиной вспышки массовых пожаров, следить за динамикой развития крупных лесных пожаров и результатами их тушения. По информации со спутников устанавливают оптимальные сроки начала авиатрулирования по границе схода снежного покрова и оценивают пожароопасную ситуа-

цию в обширных регионах охраняемой территории.

Несмотря на имеющиеся успехи в области создания технических средств для тушения лесных пожаров с самолетов и вертолетов и накопленный в этом деле опыт, основная тяжесть борьбы с огнем в лесу до сих пор приходится на рабочих-пожарных, занятых их тушением или дотушиванием. Поэтому основной задачей перспективного периода является разработка такого оборудования и технологии его применения, которые обеспечивали бы выполнение всех операций по тушению и локализации лесных пожаров непосредственно с воздуха, оставив за наземными командами функции контроля и окарауливания.

УДК 630*432.21 + 338.32.053.4

Оптимальное размещение видеосенсоров для повышения эффективности автоматизированного обнаружения лесных пожаров на ранней стадии

© О. А. Громазин, В. В. Пархачёв, А. В. Филимонов, А. М. Чириков, И. С. Шишалов

Optimal sensor placement for improving automated detection of incipient forest fire

O. A. Gromazin, V. V. Parkhachev, A. V. Filimonov, A. M. Chirikov, I. S. Shishalov («DiSiCon» LLC: Russia, Nizhniy Novgorod)

Good sensor placement is essential for efficient forest fire detection. At present, the problem can be reworded as choosing a cellular tower subset for deploying the optimal forest fire detection system. Several optimization criteria and approaches are under consideration. It is shown that informal technique based on experience gives better results than stochastic placement but in general is worse than formal method formulating and solving the problem as optimal decision making. Experimental results are obtained for one of regions of Russia. Automatic and manual approaches for incipient forest fire detection are compared. Key forest fire detection system indicators are worked out. Manual detection processes are proved to be of low-efficiency and advantages of automated detection are denoted.

Key words: fire observation towers, automated forest fire detection, forest fire surveillance, optimal placement

Оптимальное размещение видеосенсоров для повышения эффективности автоматизированного обнаружения лесных пожаров на ранней стадии

О. А. Громазин, В. В. Пархачёв, А. В. Филимонов, А. М. Чириков, И. С. Шишалов

Показана актуальность задачи размещения камер системы раннего мониторинга лесных пожаров на антенно-мачтовых сооружениях операторов сотовой связи. Продемонстрировано преимущество эвристического метода размещения наблюдательных вышек над случайным, а также формального метода над эвристическим. Предложены критерии анализа качества решений. На примере Ленинградской области получены численные решения.

Произведено сравнение ручного и автоматизированного способов раннего обнаружения лесных пожаров. Обоснованы количественные показатели для такого сравнения. Показана низкая эффективность метода прямого наблюдения (ручного метода). Указаны преимущества автоматической системы.

Ключевые слова: пожарно-наблюдательные вышки, обнаружение лесных пожаров, автоматизация обнаружения лесных пожаров, видеомониторинг лесных пожаров, оптимальное размещение

Громазин Олег Андреевич – инженер-программист

Пархачёв Владимир Владимирович – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

Филимонов Андрей Викторович – канд. техн. наук, директор отдела НИОКР и разработки ПО

Чириков Алексей Михайлович – технический писатель

Шишалов Иван Сергеевич – директор ООО «ДиСиКон»

ООО «ДиСиКон»

Россия, 603141, г. Нижний Новгород, п. Черепичный, д. 14, офис 305

Телефон: +7 (831) 411 55 97

E-mail: info@lesdozor.ru

Введение

Спутниковые технологии и авиационные подходы к мониторингу леса за последние 20 лет претерпели существенное развитие [22], в то время как система наземной охраны лесов от пожаров значительно разрушена [21], существующая инфраструктура высотных объектов (пожарно-наблюдательных вышек – ПНВ) находится в плачевном состоянии, многие из них использовать уже нельзя. Количество работников лесного хозяйства, занятых противопожарным мониторингом леса, постоянно уменьшается. Подобные изменения приводят к тому, что обнаружить очаг возгорания вблизи населенного пункта в первые часы его возникновения становится сложно, хотя подобные пожары наиболее опасны для экономики и человека. Привлекательной альтернативой использованию традиционных ПНВ является возможность эксплуатации существующей инфраструктуры и антенно-мачтовых сооружений операторов связи [21]. Данные объекты обладают необходимым оборудованием для передачи сигнала, а, следовательно, экономическая эффективность вышеуказанных систем может быть значительно выше за счет их дополнительной эксплуатации. Размещение человека-наблюдателя на таких вышках невозможно, но и нецелесообразно вследствие развития систем автоматизированного наблюдения с использованием видеооборудования [7, 13].

Оптимизация размещения видеосенсоров

Размер соты системы мобильной связи зависит от плотности населения и имеет радиус от десятков метров до 35 км в районах с низкой плотностью населения. С точки зрения противопожарного мониторинга имеет смысл рассматривать территории с высокой концентрацией леса. В таких регионах расстояние между антенно-мачтовыми сооружениями может составлять от единиц до десятков километров. Максимальный радиус обнаружения пожара при наблюдении с такой вышки зависит от её высоты, рельефа местности, прозрачности атмосферы, типа видеодатчиков и, согласно оценкам авторов, может достигать 30 км при ясной погоде [21].

Разместить необходимое для слежения за лесом видеооборудование на всех имеющихся в

регионе антенно-мачтовых конструкциях, по-видимому, не представляется возможным по финансовым соображениям: например, в Московской области таких вышек более трёх тысяч [15]. Однако в этом нет необходимости по двум причинам. Во-первых, часть вышек находится в районах, где лес отсутствует, во-вторых, зачастую расстояние между соседними вышками существенно меньше радиуса уверенного обнаружения пожара. То есть фактическая плотность расположения вышек на некоторой части территории избыточна для решения задачи раннего обнаружения лесного пожара, а на другой части недостаточна, однако даёт возможность выбора. Таким образом, возникает типичная проблема оптимизации при ограниченных ресурсах.

При решении такого рода задач должен быть учтён ряд факторов. Участки леса, как правило, имеют неодинаковую ценность и последствия позднего обнаружения пожара могут различаться; вероятность возникновения очага возгорания также может зависеть от расположения участка и типа леса [8]. Очевидно, что приоритетным является покрытие системой видеонаблюдения наиболее проблемных участков. Кроме того, существует два класса управляемых видеокамер – купольные и некупольные, различающихся как по способу монтажа на вышке, так и по стоимости. Некупольные камеры должны размещаться в наиболее высокой точке антенно-мачтовой конструкции, они обеспечивают обзор почти в 360° (за исключением, в некоторых случаях, зоны громоотвода), однако в среднем их закупочная и эксплуатационная стоимость в 1,5–2 раза выше, чем купольных. Купольные камеры могут быть смонтированы на опорах вышек в произвольном месте. Опора вышки может загоразивать до 90° угла обзора купольной камеры, что составляет четверть от кругового обзора. Но в итоге, и это будет продемонстрировано ниже, использование купольных камер зачастую экономически более целесообразно. Однако при решении задачи оптимального размещения в общем случае нужно учитывать возможность использования и тех и других. Ещё одним фактором оптимизации эксплуатационной стоимости может являться стоимость канала связи, необходимого

для передачи видеоизображения с камеры наблюдения оператору или на сервер системы автоматической обработки. Стоимость аренды инфраструктуры связи может зависеть как от принадлежности вышки тому или иному владельцу, так и от её расположения.

Таким образом, при выборе вышек для размещения системы мониторинга лесных пожаров нужно решать задачу оптимизации с учётом карты лесов, рельефа местности, особенностей погодных условий и имеющейся инфраструктуры связи. Обычно эта задача решается ответственными лицами эвристическими методами на основании личного опыта и интуитивных представлений о возможности возникновения пожаров в той или иной части леса. Вполне естественно, что требовать учёта большого числа факторов при таком способе решения невозможно, тем более что речь идёт о размещении нескольких десятков или сотен камер.

Описываемая прикладная задача оптимизации при формализации порождает NP-трудную математическую проблему, т. е. проблему, для которой невозможно построить алгоритм полиномиальной сложности, находящий точное оптимальное решение. NP-полная задача о ранце может быть сведена к частному случаю рассматриваемой задачи, а именно к случаю, когда не учитывается рельеф, и области видимости с высотных сооружений не пересекаются, за полиномиальное время. При этом размерность задачи на практике настолько велика, что не даёт надежды на нахождение точного оптимума за приемлемое время. Выходом из ситуации является применение алгоритмов приближённого (псевдооптимального) решения задач.

В основу метода решения описываемой оптимизационной задачи может быть положен так называемый генетический алгоритм [1, 2]. Его преимущество при решении такого рода задач состоит в адекватном поведении в условиях сложного ландшафта критериев, что позволяет находить приемлемые варианты размещения сотен камер на тысячах потенциально доступных вышек с учётом важных для данной местности факторов. Полученное решение, в отли-

чие от эвристического решения, построенного человеком, является более объективным.

В качестве примера применения формального подхода проведём анализ одного северо-западного региона Российской Федерации, в котором существует развернутая система мониторинга леса с использованием видеокамер. Сравним по различным параметрам эффективность имеющегося в настоящее время размещения камер, полученного эвристическим методом, с различными вариантами оптимальных¹ размещений. Для определения оптимальных размещений использовано специализированное программное обеспечение ForCAS [4].

В качестве исходных данных возьмём географические координаты и высоты антенно-мачтовых конструкций [14], карту лесов с указанием типа леса [5, 11] и карту высот [10] региона. Расположение вышек на карте региона показано на рисунке 1.

В качестве данных для сравнения возьмём координаты вышек [3], где система размещена в настоящее время. Известно, что использовались камеры некупольного типа, всего 82 штуки.

В качестве максимизируемой величины будем рассматривать площадь покрытия территории системой видеонаблюдения. Здесь выделим шесть простейших вариантов вычисления площади:

- общая
- двойного покрытия
- покрытия леса
- двойного покрытия леса
- покрытия соснового леса
- двойного покрытия соснового леса.

Под двойным покрытием участка имеется в виду случай, когда он может быть осмотрен с двух или более вышек, что позволяет существенно более точно определить координаты возгорания, и, следовательно, минимизировать время на его устранение. Рассмотрение случая максимизации общей площади покрытия позволяет проанализировать ситуацию, когда карта лесов при решении задачи не доступна. Природная пожарная опасность по типу насаждений у сосновых лесов существенно выше, чем у других

¹Здесь под оптимальными решениями понимаются в том числе и псевдооптимальные решения, полученные при решении задачи размещения приближёнными алгоритмами

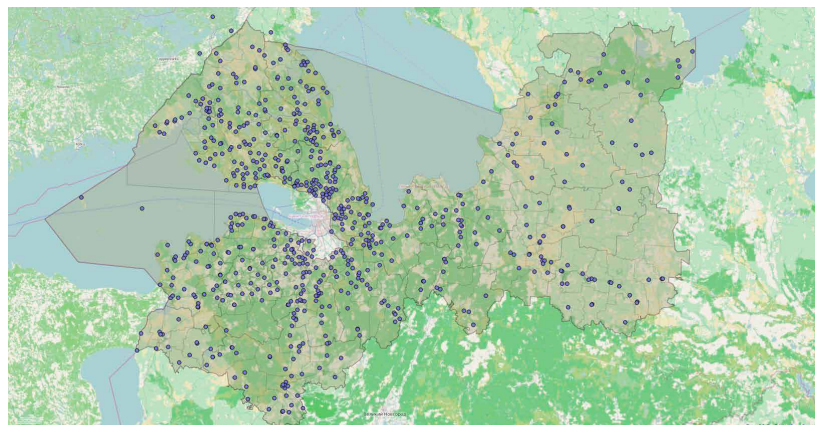


Рис. 1. Расположение всех доступных вышек на карте региона

древостоев [8], поэтому максимизация площади покрытия соснового леса также может являться самостоятельной задачей. При наличии соответствующих карт, при решении задачи можно учитывать ведомственную принадлежность участков леса, а также класс природной пожарной опасности. В нашем случае использовалось приближение, что весь лес принадлежит к лесному фонду, а наивысший класс пожарной опасности представляет сосновый лес.

Для каждого варианта вычисления площади задача решалась как для некупольной камеры с углом обзора 360° , так и для купольной с обзором 270° , причём в последнем случае оптимизировалось ещё положение камеры на вы-

шке в соответствии с картой местности и ориентацией других камер. Радиус обнаружения пожара с каждой вышки предполагался равным 20 км, что не ограничивает общности подхода.

Будем называть лучшую из десяти случайных расстановок заданного количества камер по имеющимся вышкам *случайным решением*, имеющуюся на практике расстановку — *эвристическим*, а полученную с помощью генетического алгоритма — *оптимальным*. Выбор лучшей из десяти случайных расстановок имитирует «ручное» решение задачи, которое мог бы получить человек без численной оптимизации. Сравнение эффективности трёх типов решений при расстановке 82 камер приведено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Площади покрытия территории системой видеонаблюдения при различных типах решения задач и удельная стоимость развёртывания системы покрытия леса

Оптимизируемая площадь, км ²	Типы решения задачи			
	Случайное	Эвристическое	Оптимальное	
			Некупольные камеры	Купольные камеры
Общая	24821	30777	36426	32576
Двойного покрытия	7225	7586	15753	13449
Леса	2749	22588	26937	24043
Двойного покрытия леса	3214	6203	11400	9984
Соснового леса	5000	5525	8351	7683
Двойного покрытия соснового леса	1669	1386	4501	3981
<i>Стоимость развёртывания системы покрытия леса, тыс. руб./км²</i>	<i>8,95</i>	<i>1,09</i>	<i>0,91</i>	<i>0,68</i>

Одинаковое количество камер взято как показатель одинаковой стоимости решений. В таблице 2 под $S_{\text{случ.}}$ понимается площадь покрытия, полученная при случайном расположении камер, под $S_{\text{эврист.}}$ — полученная эвристическим

методом, под $S_{\text{опт. некупол.}}$ — полученная при оптимальном расположении камер некупольного типа, под $S_{\text{опт. купол.}}$ — полученная при оптимальном расположении камер купольного типа.

Таблица 2

Отношения площадей покрытия территории системой видеонаблюдения при различных типах решения задач

Оптимизируемая площадь, км ²	$\frac{S_{\text{эврист.}}}{S_{\text{случ.}}}$	$\frac{S_{\text{опт. некупол.}}}{S_{\text{эврист.}}}$	$\frac{S_{\text{опт. некупол.}}}{S_{\text{опт. купол.}}}$
Общая	1,24	1,18	1,12
Двойного покрытия	1,05	2,08	1,17
Леса	8,23	1,19	1,12
Двойного покрытия леса	1,93	1,84	1,14
Соснового леса	1,1	1,51	1,09
Двойного покрытия соснового леса	0,83	3,25	1,13

Из анализа таблиц 1-2 видно, что эвристическое решение практически всегда превосходит случайное по своей эффективности. Причём наиболее велика степень превосходства при оптимизации площади однократного покрытия леса. По-видимому, именно критерий максимизации однократного покрытия леса и применялся авторами эвристического решения. Однако формализация задачи и применение генетического алгоритма позволяет улучшить решение минимум на 20 %, особенно в случаях использования сложных критериев. Например, при максимизации двойного покрытия соснового леса достигнуто преимущество в 3,25 раза.

Для расчёта удельной стоимости развёртывания системы оптимального покрытия леса в таблице 1 использовалась ориентировочная стоимость закупки и монтажа камеры некупольного типа 300 тыс. рублей и камеры купольного типа — 200 тыс. рублей [9]. Таким образом, удельная стоимость развёртывания системы на базе камер купольного типа оказывается в 1,34 раза ниже.

Также следует отметить, что критерий оптимизации при формальном решении задачи сильно влияет на размещение камер. Сама возможность использования различных критериев появляется только в формальном методе. Иллюстрация к формальному решению дана на рисун-

ке 2. Красным цветом показана расчётная зона уверенного обнаружения возгорания, белым — возможного. При создании изображения использовалось программное обеспечение QGIS [12].

Если рассматривать размещение камер купольного типа, то при сохранении количества камер площадь покрытия в абсолютных единицах снижается на величину порядка 10 % вместо 25 %, как следовало бы ожидать из отношения углов обзора камер. Однако если учесть, что стоимость камер купольного типа в среднем в полтора—два раза ниже, чем некупольного, с точки зрения экономической эффективности решение, основанное на купольных камерах, оказывается значительно более выгодным. Кажущийся парадокс объясняется тем, что контролируемая территория за счёт рельефа и расположения леса зачастую не имеет сплошного характера, поэтому купольную камеру почти всегда можно установить так, чтобы в «области тени» лежали неинтересные участки. Также возможно располагать соседние купольные камеры таким образом, чтобы «область тени» одной камеры покрывалась областью видимости другой. Особенно высока эффективность купольных камер, пока не требуется двойное покрытие территории (см. табл. 2). Но могут быть случаи, когда камера некупольного типа ока-

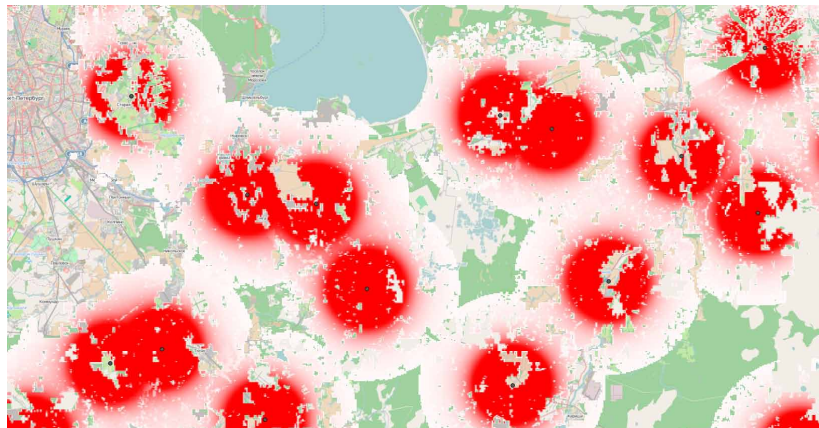


Рис. 2. Расчётное покрытие территории системой видеонаблюдения

жется более эффективной. Например, случай отдельно стоящей вышки в сплошном «океане» леса. Поэтому оптимизацию размещения камер лучше проводить, разрешив алгоритму самому выбирать тип используемой камеры.

Не привязываясь к конкретному количеству размещаемых камер, задачу оптимизации можно формулировать как минимизацию стоимости системы при гарантированном покрытии определённой площади. На рисунке 3 видно,

как меняется максимальная площадь покрытия леса региона в зависимости от количества используемых некупольных камер при их оптимальном размещении. Точкой под графиком показана площадь леса, покрываемая текущим размещением 82 камер. При увеличении количества камер угол наклона графика падает, поскольку удельная эффективность добавления новых камер снижается из-за пересечения их областей покрытия территории.

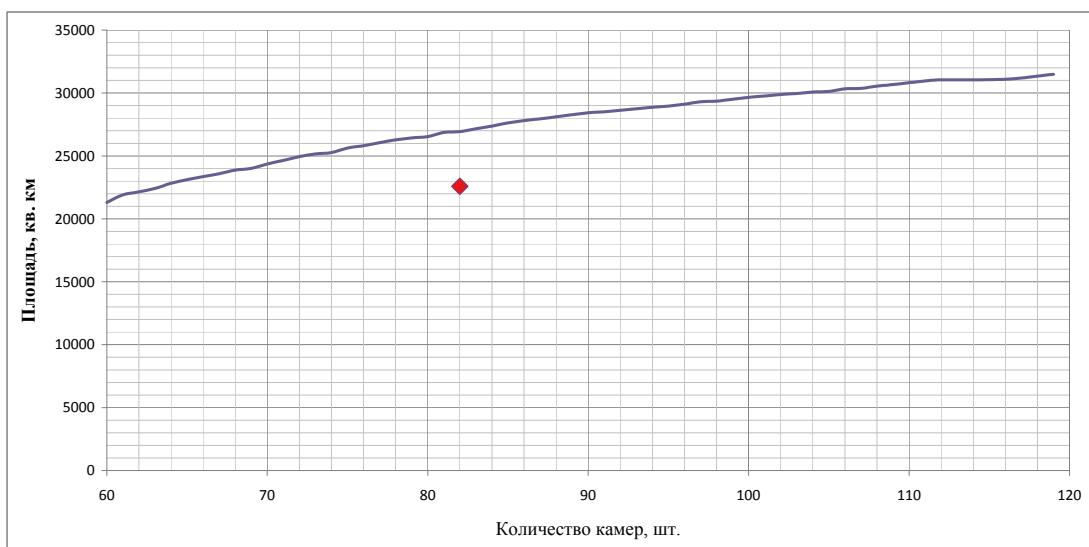


Рис. 3. Зависимость покрываемой площади леса от количества установленных камер

Автоматизация системы мониторинга

Размещением камер на выбранных антенно-мачтовых конструкциях создание системы мониторинга ограничиться не может. Должны

быть созданы центры, куда будет стекаться видеoinформация с камер наблюдения, и разработан регламент обработки этой информации. Здесь возможны две существенно различные

ситуации. Во-первых, видеоданные в режиме реального времени могут отображаться на мониторах, а сотрудники центра должны непрерывно их просматривать и анализировать. Во-вторых, возможна частичная автоматизация процесса на основании систем обнаружения дыма на изображениях.

Современные алгоритмы машинного зрения способны решать достаточно сложные задачи [19]. К сожалению, настоящий уровень развития в этой области знаний не позволяет говорить о надёжном на 100 % решении задачи автоматического обнаружения небольшого дыма на крайне разнородном по содержанию видеозаписи. Задача усложняется переменчивыми условиями видимости, причём этот фактор существенно влияет на вероятность как автоматического, так и ручного обнаружения. С достаточной долей уверенности можно сказать, что при анализе одной и той же единичной видеозаписи вероятность ошибки у человека меньше. Однако установлено, что при обработке больших объёмов визуальной информации его преимущество над «машиной» утрачивается [6, 23, 24]. Зачастую число операторов систем видеонаблюдения ограничивается финансовыми соображениями и в значительной степени не соответствует реальным предельным возможностям восприятия визуальной информации, что делает использование человека как элемента обнаружения не только низкоэффективным, но и в большинстве случаев просто бессмысленным. Согласно исследованию [6], оператор системы видеонаблюдения способен эффективно отслеживать два монитора с четырьмя картинками на каждом не более 45 минут, после чего необходим перерыв не менее 15 минут. При этом вероятность пропуска события длительностью порядка десяти секунд составляет 30 %. Кроме того, при совмещении на одном мониторе с разрешением 1280×1024 нескольких изображений разрешение каждого будет падать пропорционально. В то же время самые удалённые пожары возможно обнаружить только используя камеры формата 1920×1080 в полном разрешении. То есть в ряде случаев, напротив, имело бы смысл выводить одно изображение на четыре монитора. Разме-

щая же четыре изображения на одном экране, операторы в разы ограничивают дальность действия системы, чем многократно снижают её эффективность. Угол обзора камеры также напрямую влияет на детализацию изображения и, следовательно, на дальность обнаружения. С целью сокращения времени контроля территории операторы стремятся работать на широком угле, чем вновь снижают эффективность. Визуальное обнаружение объекта будет высоковероятным, если его размер не менее 5-10 % высоты изображения [6], то есть важность изучения картинки на максимальном приближении в максимальном разрешении для раннего обнаружения пожара исключительна.

Кроме требований к качеству работы системы обнаружения существуют санитарные правила и нормы [16], которым должна подчиняться работа операторов. Согласно им продолжительность непрерывной работы оператора за монитором не должна превышать одного часа, а рекомендуемый перерыв составляет 10-15 минут.

Рассмотрим типичную управляемую видеокамеру с углом обзора четыре градуса на максимальном приближении. Пусть для осмотра одного изображения и ручного поворота камеры на следующую позицию оператору требуется 15 секунд. Всего позиций при круговом обзоре будет 90. Полное время осмотра круговой панорамы, исключая возможные дополнительные накладные расходы времени, составит 22,5 минуты. Для обеспечения высоких требований к качеству работы системы раннего мониторинга лесных пожаров одна и та же территория должна осматриваться не реже, чем раз в час. Учитывая необходимый перерыв в 15 минут, получаем, что один оператор может контролировать не более двух камер! Именно такое соотношение камер и штатных сотрудников центра мониторинга должен указывать регламент системы ручного мониторинга. Очевидно, что таких ресурсов для решения задач наблюдения просто нет.

В то же время, существуют алгоритмы анализа видеозаписей [17, 18, 25] как зарубежной, так и отечественной разработки, статистически показывающие вероятность пропуска дыма, равную 5 % и более, в зависи-

мости от условий видимости. Даже если вероятность пропуска дыма оператором при анализе единичного изображения стремится к нулю, при работе с потоком изображений она может возрасти до 30 % [6, 23]. Причём условия видимости влияют на оператора гораздо сильнее, нежели на автоматическую систему, поскольку предельный контраст на видеоизображении, с которым может работать человек, составляет 2 % [20], а при машинной обработке он зависит от разрядности аналого-цифрового преобразователя и не превышает $1/256 \approx 0,4$ %.

Помимо пропуска цели, у автоматических систем существует вероятность ложного срабатывания. Поэтому требуется ручная проверка сигналов, поданных автоматической системой. Она может осуществляться путём вывода подозрительных видеозаписей на монитор, причём мотивация оператора при анализе таких данных гораздо выше, чем при просмотривании изображений, не содержащих подозрительных объектов. А значит, вероятность ошибки становится ниже. У алгоритмов автоматического обнаружения [13, 17, 18, 25] вероятность ложного срабатывания составляет от 5 % до 20 % в зависимости от конкретных условий наблюдения. Их применение приводит к сокращению в 5–20 раз количества выводимых операторам видеоданных, что позволяет во столько же раз сократить количество наблюдателей. Суть алгоритмов автоматического обнаружения дыма во всех случаях составляет авторское ноу-хау и не может быть обсуждена в данной статье.

Ещё одно преимущество автоматической системы состоит в том, что она не станет нарушать регламент и маршрут осмотра территории. Все подозрительные видеоданные могут архивироваться, а значит, может иметь место персональная ответственность человека-оператора за их проверку, что ведёт к повышению дисциплины. В то время как в отсутствие автоматической регистрации подозрительных событий разобрататься впоследствии, по каким причинам оператор «не заметил» дыма, невозможно.

Автоматизированная система может иметь произвольно сложный маршрут осмотра территории, учитывающий расположение леса и рельеф. Проходить сложную траекторию маршрута при ручном управлении камерой затруднительно, и это отвлекает оператора от основной цели.

Заключение

Таким образом, актуальность задачи размещения камер системы раннего мониторинга лесных пожаров на антенно-мачтовых сооружениях операторов сотовой связи можно считать обоснованной. Количественный анализ продемонстрировал преимущество формального подхода с использованием генетического алгоритма при решении задачи размещения камер. Предложены многочисленные критерии сравнения решений. Результаты апробированы на одном из регионов Российской Федерации.

Сравнение ручного и автоматизированного способов раннего обнаружения лесных пожаров показало практически безусловное превосходство последнего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батищев, Д.И. Многоуровневый генетический алгоритм решения задачи декомпозиции гиперграфа / Д.И. Батищев, Н.В. Старостин, А.В. Филимонов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии» – 2007. – вып. 2. – С. 3–14.
2. Гладков, Л.А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
3. Документация об открытом аукционе на право заключения государственного контракта на организацию постоянных наблюдений за состоянием лесов на территории Ленинградской области в период пожароопасности, в том числе приобретение оборудования (в части оказания услуг по предоставлению каналов связи). № торгов ЭА-235/13. — Режим доступа: <http://www.zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html>

4. Есин, И.В. Программа для проектирования систем мониторинга леса и определения их характеристик – Forest Coverage Analysis System / И.В. Есин, А.В. Филимонов, О.А. Громазин, И.С. Шишалов, ООО «ДиСиКон» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2012612824, от 21 марта 2012 г. – М.: ФГБУ «Федеральный Институт Промышленной собственности».
5. Карта лесов Российской Федерации, окрашенная по преобладающим группам пород деревьев и сомкнутости древесного полога / С.А. Барталев, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, П.В. Потапов, С.А. Турубанова, А.Ю. Ярошенко. – 1:14 000 000. – М., 2004. – 1 с.
6. Крахмалев, А.К. Эффективность прямого видеонаблюдения и величина нагрузки на оператора видеонаблюдения / А.К. Крахмалев, А.А. Михайлов // ИНФОРМОСТ. – «Радиоэлектроника и Телекоммуникации». – 2008. – № 2. – С. 26–27.
7. Кругль, Г. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV / Г. Кругль. – «Секьюрити Фокус», 2010. – 640 с.
8. Приказ Рослесхоза № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды» – 5 июля 2011 г.
9. Сайт интернет-магазина «Армо-системы» – Режим доступа: <http://www.armosystems.ru/catalog>
10. Сайт проекта “EarthExplorer” – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>
11. Сайт проекта “OpenStreetMap” – Режим доступа: <http://www.openstreetmap.org>
12. Сайт проекта “QGIS” – Режим доступа: <http://www.qgis.org>
13. Сайт проекта “Лесной дозор”. Описание комплекса – Режим доступа: <http://www.lesdozor.ru/ru/sistemalesnoidozor/opisaniecomplexsa>
14. Сайт проекта “NETMONITORING”. Ленинградская область – Режим доступа: <http://www.netmonitor.ru>
15. Сайт проекта “NETMONITORING”. Московская область – Режим доступа: <http://gsmmap.ru/moscow>
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
17. Филимонов, А.В. Пользовательское приложение «Лесной Дозор» v. 3.1 / А.В. Филимонов, О.А. Громазин, С.В. Брунов, Н.В. Погорский, А.В. Романенко, ООО «ДиСиКон» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013619328, от 01 октября 2013 г. – М.: ФГБУ «Федеральный Институт Промышленной собственности».
18. Филимонов, А.В. Серверная часть системы «Лесной Дозор» v.3.1 / А.В. Филимонов, О.А. Громазин, С.В. Брунов, Н.В. Погорский, ООО «ДиСиКон» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013619134, от 26 сентября 2013 г. – М.: ФГБУ «Федеральный Институт Промышленной собственности».
19. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – Вильямс, 2004. – 928 с.
20. Шаронов, В.В. Измерение и расчёт видимости далёких предметов / В.В. Шаронов. – М.-Л.: ОГИЗ Гостехиздат. – 1947. – 284 с.
21. Шишалов, И.С. Обнаружение лесных пожаров: основные этапы развития / И.С. Шишалов // Системы безопасности. – 2010. – № 5 (95). – С. 122–124.
22. Щетинский, Е.А. Авиалесоохрана России: науч.-производствен. изд-е / Е.А. Щетинский. – М.: Лесная новь, 2006. – 237 с.
23. Aldridge, J. CCTV Operational Requirements Manual. – Режим доступа: http://www.instrom.co.uk/downloads/PSDB_CCTV_requirements.pdf
24. Donald, F.M. Individualised Responses to Vigilance Demands and Their Management / F.M. Donald, C. Donald // The Proceedings of the 4th Australian Security and Intelligence Conference. – Perth, Western Australia, 2011. – P. 74–80.
25. Matthews, S. Evaluation of three fire detection systems / S. Matthews, A. Sullivan, J. Gould, R. Hurley, P. Ellis, J. Larmour. – Режим доступа: <http://www.ag.gov.au/Publications/Documents/RemoteFireDetectionTrialsEvaluationofThreeFireDetectionSystems/FireDetectionPublicReport.pdf>