

А.Р. ДАВИДЯН, Г.В. БЕРБЕРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОРТАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ИК ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены вопросы информационной ценности лазерных радаров. Проведен анализ особенностей реализуемого с их помощью ИК сканирования наземных объектов. Представлены методы улучшения таких их характеристик, как быстродействие, 3D визуализация без сканирования с использованием 3D FPA(focal plane array) детекторов. Исследована система комбинированного портативного устройства, в целом представляющего собой подсистему, совмещающую ИК лазерный сканер и детектор для обнаружения и идентификации наземных целевых объектов. Дана оценка пропускной способности каналов и задержек в системе синхронизации между базовой станцией и подвижным объектом.

Ключевые слова: лазерный радар (сканер), ИК камеры, 3D FPA детекторы, GSM, GPRS, 3G, пропускная способность, система.

В [1-5] приведены результаты исследований ИК лазерного сканирования, в которых были представлены модели взаимодействия лазерного луча с целевыми объектами, анализ особенностей сканирования наземными ИК лазерными радарными, методы улучшения таких их характеристик, как быстродействие, 3D визуализация без сканирования с использованием 3D FPA(focal plane array) детекторов. Тщательный анализ ряда положительных следствий, вытекающих из указанных исследований, позволил авторам предложить модель системы сканирования лазерного радара (сканера), действующего совместно с ИК камерой для получения более детальной визуализации наблюдаемых объектов.

Данные, полученные с помощью лазерных радаров, представляют собой совокупность изображений точек, инициируемых лазерным облучением. На рис.1а представлены типовые примеры таких “лазерных” точек, которые соответствуют различным компонентам сканируемой поверхности. Высокой информативностью обладают лазерные точки, локализуемые на вертикальных поверхностях идентифицируемых объектов, например, транспортных средств. В силу строгой вертикальности расположения стен конструкции лазерные точки, отображающие стены конструкции, сразу определяют контуры их поверхностей. Существенно меньшей информативностью обладают точки, отраженные от поверхности земли. Для их правильной идентификации необходимо применение специальных математических методов, позволяющих

произвести их классификацию, т. е. определить с некоторой достоверностью, действительно ли эти точки принадлежат данному объекту. Значительную роль в определении информационной ценности данных играет программное обеспечение, которое позволяет выполнить распознавание и локализацию объектов и компонент ландшафта.

Рассмотрим распределение лазерных точек на идентифицируемой поверхности (сцены), которое непосредственно связано с качеством отображения облучаемой поверхности. Средняя плотность лазерных точек измеряется количеством *точек/м²*. Если плотность облучения меньше допустимой (рис.1 б), построенная модель поверхности, представленной профилем ее поперечного разреза (рельефом), будет отличаться от истинного профиля сцены. При выборе плотности облучения в любом из вышеуказанных режимов информативность изображения лазерного радара не увеличивается, и остается ограниченным ее оптимальный уровень, но, с другой стороны, снижается производительность съемки при уменьшении плотности облучения.

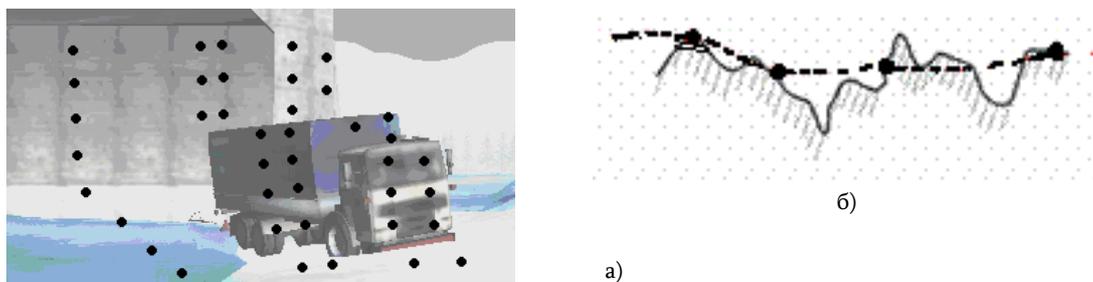


Рис.1. Распределение лазерных точек на поверхности распознаваемого объекта (а) и рельефе произвольного разреза (б)

Таким образом, при съемке идентифицируемой поверхности выбор оптимальной плотности облучения может быть произведен на основе теоремы Найквиста-Котельникова с учетом среднестатистического распределения лазерных точек на характерных поверхностях идентифицируемых объектов, в результате чего определяется частота дискретизации плотности облучения. Однако трудность указанного метода состоит в том, что рельеф на идентифицируемой поверхности априорно неизвестен и характеризуется случайным распределением.

Для увеличения степени точности отображения исследуемой поверхности объекта не менее важное значение имеют размеры FPA, определяющие количество светоизлучающих или поглощающих пикселей.

Камеры, описанные в [2], имеют FPA размером 128x128 пикселей, однако такой размер не является технологическим ограничением. Не является ограничением и частота кадров 30 Гц. Такой импульсный лазерный радар имеет способность охватить все 3D изображение только

одним переданным импульсом. В указанной системе возможно увеличение частоты следования кадров до 50...60 Гц для получения данных о движущихся объектах. Такой детектор может иметь те же размеры, что и обычная камера, которая в пиксельном выражении может достичь существенно больших размеров, например, 512x512, а также лазерный источник, подходящий для портативного применения. Для идентификации на коротких дистанциях лазер можно включить в саму камеру.

Для моностатического лазерного радара при поиске цели на расстоянии R принятая мощность P_r может быть записана в виде [3]

$$P_r = P_t \eta_t \eta_r G A_r T_{atm}^2 (R) / R^2, \quad (1)$$

где P_t - передаваемая мощность, Вт; η_t и η_r - КПД, %, соответственно передатчика и приемника; T_{atm} - атмосферные потери передачи по обоим направлениям, дБ; A_r - площадь приемного окна приемника, м²; G - нормированная интенсивность отражения от цели, *срп*⁻¹.

В основе расчета лежит определение числа фотонов на пиксель, которое находят по формуле [3]

$$N_{ph/pix} = E_p \cdot \frac{\rho}{\pi} \cdot \frac{\pi D^2}{4R^2} \cdot \frac{1}{N_{pix}} \cdot \frac{1}{h\nu} \cdot T_{atm}^2, \quad (2)$$

где E_p - энергия лазерного импульса, Дж; N_{pix} - число пикселей в матрице, безразмерная величина; D - диаметр приемника, м; ρ - отражательная способность облучаемой поверхности, %.

Предположим, что требуется произвести сканирование на расстоянии до $R=5 \cdot 10^3$ м, доступном для целей нашего исследования, при среднем коэффициенте отражения $\rho=10\%$, энергии лазерного луча $E_p=100$ мДж, диаметре приемника 0,1 м и количестве пикселей в матрице 128·128.

Как видно из формулы (2), количество фотонов на пиксель, помимо прочих параметров, зависит и от атмосферных потерь. Так, при длине волны 1,5 мкм и силуэтной видимости объектов на 15 км атмосферные потери в обоих направлениях (от передатчика до цели и обратно к приемнику) составят $T_{atm}^2=10$ дБ. При длине волны 1,5 мкм энергия фотона равна $E=hh\nu=1,3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Подставляя эти значения в формулу (2), получим количество фотонов на пиксель, равное $N_{ph/pix}=152$.

Исходя из результатов предварительного анализа теоретических соотношений, характеризующих процессы ИК облучения поверхностей различных тел и определенной части указанного излучения, отраженной поверхностью облучаемого объекта, в настоящей работе произведена попытка разработки алгоритма функционирования портативной лазерной системы с предельно доступной детализацией данных для идентификации различных объектов.

Структура предлагаемой системы показана на рис.2.

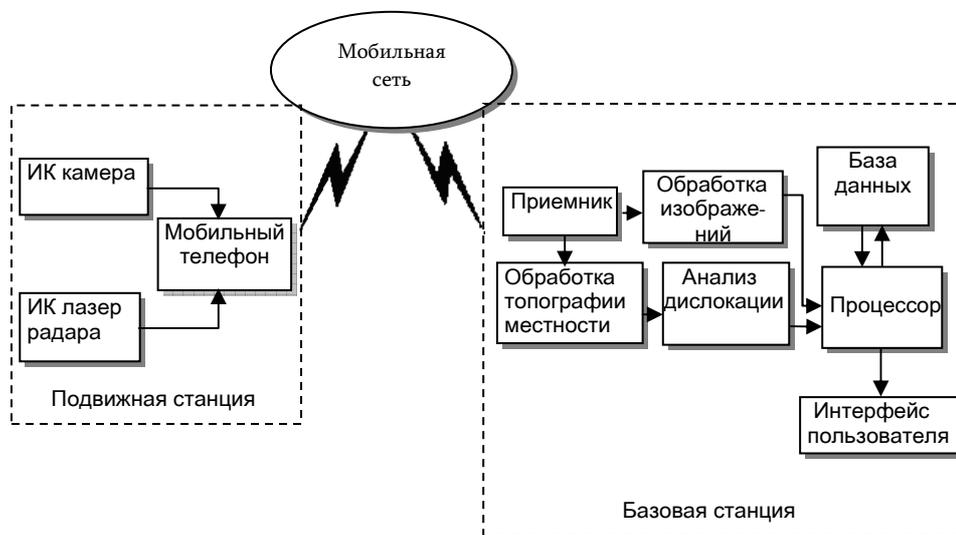


Рис.2. Структурная схема портативной лазерной системы идентификации объектов

Данную систему можно подразделить на две части: портативную подвижную станцию и неподвижную (базовую) станцию. Подвижная станция содержит в себе инфракрасную камеру [4] и лазерный радар, действующие в пределах до 1000 м, а также мобильный терминал. Данные в формате 2D, полученные с выхода ИК камеры, и данные в формате 3D, полученные с выхода лазерного радара, поступают на мобильный терминал, которые затем передаются через мобильную сеть на базовую станцию.

Одним из важнейших вопросов является объединение лазерного сканера и ИК камеры в одно целое устройство. Главное преимущество ИК камеры - это очень короткое время приема излучения. Лазерные сканеры - это устройства активного облучения с собственным источником излучения, и, следовательно, они подвержены влиянию внешнего освещения.

Таким образом, задача комбинирования сводится к совмещению пассивной и активной рабочих подсистем. При комбинировании, по мере возможности, должно быть гарантировано практическое совпадение с наиболее доступной точностью оптического центра камеры с оптическим центром сканера. Оба устройства должны быть так сопряжены друг с другом, чтобы обе горизонтальные оси вращения были ориентированы друг к другу параллельно.

Важнейшим вопросом теоретического и прикладного характера является также передача полученной от ИК системы лазерной идентификации видеоинформации по сетям сотовой связи. Как уже было сказано выше, в системе может оказаться востребованным увеличение частоты следования кадров до 50...60 Гц, что обусловлено необходимостью получения данных

о движущихся объектах. Передача же видеоданных при указанной частоте следования кадров по сетям сотовой связи с использованием стандарта GSM не представляется возможной даже с

применением новейших методов сжатия видеоданных, способствующих уменьшению их скоростей передачи до допустимых в этом стандарте значений, позволяющих обеспечить возможность получения приемлемого качества изображения идентифицируемого объекта.

Однако при использовании GPRS или EDGE, в которых максимальная теоретическая скорость передачи данных приближается к 200 *кбит/с* (172 *кбит/с* для GPRS), а практически реализуется до 30...40 *кбит/с* (рис 3), возможна передача видеопоследовательности с применением формата 3gp или алгоритмов сжатия с применением вейвлет - преобразований [4-5], но при довольно низком качестве изображения идентифицируемого объекта.

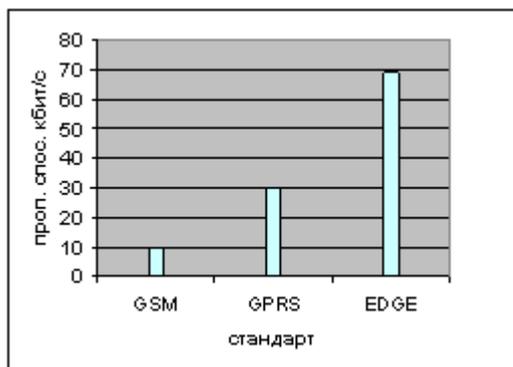


Рис.3. Пропускная способность на один канальный интервал

Сети GPRS используют радиоканалы шириной 200 *кГц*, в которых каждый канал разделяется на восемь временных окон, как показано на рис 4.



Рис 4. Временные окна радиоканала GPRS

В этих окнах каждый интервал способен обеспечить пропускную способность 13 *кбит/с*. Таким образом, пропускная способность для пользователя будет зависеть от числа временных окон, которое может обработать его устройство, и от предоставляемого оператором обслуживания. Вообще в распоряжении пользователя могут находиться все 8 временных окон, при которых пропускная способность может достигать до 8(13=104 *кбит/с*, однако операторы могут ограничить число используемых временных окон до четырех с пропускной способностью 4(13=52 *кбит/с*. Таким образом, в зависимости от требуемого качества передачи видеоданных, число используемых временных окон может меняться.

В реально действующих сетях третьего поколения UMTS скорость передачи данных может достигать до 1 *Мбит/с*, а при использовании высокоскоростных технологий – до 14 *Мбит/с*. Для таких скоростей передача видеопоследовательности с вышеуказанной требуемой скоростью передачи при реализации доступных степеней сжатия, очевидно, перестанет быть проблемой, и можно использовать стандарт MPEG 4 с I,P,B кадрами. Здесь не менее важна задержка (*c*) при установлении синхронизации подвижного терминала с базовой станцией, которая может определяться как

$$\tau = \frac{1}{I_{\text{частота}}} - \frac{1}{f_{\text{кадр}}},$$

где $I_{\text{част.}}$ - частота следования I кадров и $f_{\text{кадр}}$ - частота следования кадров в видеокомпрессии, Таким образом, $I_{\text{частота}}=f_{\text{кадр}}/n$, где n представляет собой число P и B кадров между I кадрами, т. е. через сколько кадров следует следующий I кадр или число кадров в группе. Например, можно принять значение $n=12$ при последовательности IBVBPVBPVBPVBI. На рис. 5 показаны кривые зависимости задержки установки синхронизации между базовой станцией и подвижным терминалом от числа кадров в группе при $f_{\text{кадр}}=30$ *кадр/с* (сплошная линия) и $f_{\text{кадр}}=40$ *кадр/с* (пунктир).

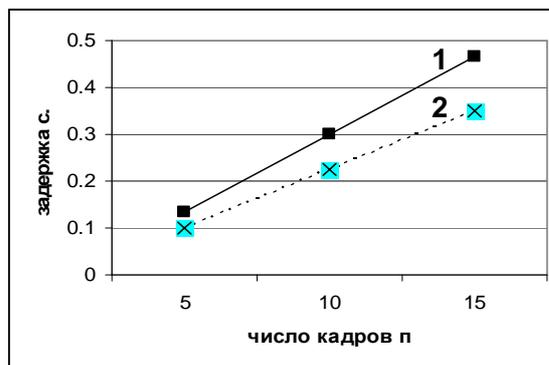


Рис. 5. Зависимость задержки установки синхронизации от числа кадров в группе при разных частотах кадров в видеокомпрессии

Что касается передачи и приема данных, то в предлагаемой структурной схеме базовая станция принимает информацию с подвижных станций, производя обработку видеоданных,

топографию местности, анализ месторасположения и идентификацию объектов, после чего данные поступают на интерфейс пользователя. В базовой станции содержится процессор, который обрабатывает и суммирует данные (производит выявление характерных черт и вычисление конфигурации объекта), полученные от лазерного сканера и ИК камеры независимо друг от друга. Для обработки данных, полученных от ИК камеры и лазерного сканера, с целью распознавания объектов, процессор запрашивает информацию из базы данных, в которой хранятся сведения о типичных сухопутных транспортных средствах и объектах. Затем с помощью специальных алгоритмов распознавания вычисляет целевые объекты.

В системе может быть использовано большое число подвижных станций, данные с которых также будут поступать на базовую станцию. Месторасположение подвижных станций фиксируется при помощи системы спутниковой навигации GPS, внедренной в мобильный телефон.

Для дальнейшего развития предложенной системы, на наш взгляд, можно указать такие направления, как внедрение в разработанную систему новых типов 3D FPA детекторов для одновременной активной и пассивной визуализации; реализация обработки сигнала непосредственно на FPA, в частности, проектирование аналого-цифрового преобразователя на чипе FPA, что позволит получить цифровой сигнал прямо на выходе FPA; выполнение нескольких функций измерения дальности до визуализации с использованием одного и того же лазера; применение новых 3D средств для обеспечения наибольшей различимости деталей образов при распознавании и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shapiro Jeffrey H.** Target-reflectivity theory for coherent laser radars // APPLIED OPTICS.-1982.-Vol.21, No.18.- P. 3398-3407.
2. **Stettner Roger, Bailey Howard, Silverman Steven.** Three Dimensional Flash Radar Focal Planes and Time Dependent Imaging // Advanced Scientific Concepts, Inc. - 2005.
3. **Steinval Ove, Carlsson Tomas, Grunwall Christina, Larsson Hekan, Klasin Lena** Laser Based 3-D Imaging New Capabilities for Optical Sensing // Technical report FOI-R-0856-SE.- April 2003. – P. 1650-1942.
4. **Давидян А.Р., Берберян Г.В.** Исследование ИК сканирования для передачи видеоинформации через портативный мобильный терминал // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. – 2007. - Вып. 10, том 2. – С. 47-56.
6. **Берберян Г.В., Давидян А.Р., Жамакочян Д.Г.** Применение вейвлет-преобразований для эффективного сжатия изображений // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. – 2007. – Вып. 10, том 1. – С. 51-59.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.03.2008.

Ա.Ռ. ԴԱՎԻԹՅԱՆ, Գ.Վ. ԲԵՐԲԵՐՅԱՆ

**ՑԱՄԱՔԱՅԻՆ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ԻՎ ԼԱԶԵՐԱՑԻՆ ՏԵՄԱԾՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ
ԴՅՈՒՐԱԿԻՐ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Դիտարկված են լազերային ռադարների ինֆորմացիոն արժեքների վերաբերյալ հարցեր: Իրականացված է դրանց միջոցով իրագործվող ցամաքային օբյեկտների ԻՎ տեսածրման առանձնահատկությունների վերլուծությունը: Բերված են վերջիններիս բնութագրերի բարելավման մեթոդներ, ինչպիսիք են արագագործությունը, 3D տեսանկյունում առանց տեսածրում իրականացնելու, օգտագործելով 3D FPA դետեկտորներ: Հետազոտված է համակցված դյուրակիր սարքի համակարգը, որը համատեղում է ԻՎ լազերային սկաներ և ԻՎ դետեկտոր՝ ցամաքային օբյեկտների հայտնաբերման և նույնացման համար: Տրված են ուղու թողարկման հատկության և բազային ու շարժական կայանների միջև սինքրոնացման հապաղումների գնահատականները :

Առանցքային բառեր. լազերային ռադար (սկաներ), ԻՎ խցիկ, 3D FPA դետեկտոր, GSM, GPRS, 3G թողարկման հատկություն, համակարգ.

A.R. DAVITYAN, G.V. BERBERYAN

**INVESTIGATION OF A COMBINED PORTABLE IR SYSTEM FOR LASER
SCANNING LAND-BASED OBJECT**

Some problems of informative capacities of laser radar are considered. An analysis of specific properties realizing IR identification systems has been developed for land-based objects laser scanning. Some technical characteristics of the systems are mentioned, such as systems response speed, 3D imaging non-scanning by using 3D FPA detectors. The combined portable facilities as a whole present a joint structure Laser IR Scanner and IR irradiation detector for identifying land-based object. The estimation of channel capacity and delays in the synchronization system between base station and mobile station are given.

Keywords: laser radar (scanner), IR camera, 3D FPA detector, GSM, GPRS, 3G, channel capacity, system.