

УДК 621.384

О.Ю. Лавров

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОД ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ НАВЧАННЯ ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ

Розроблено метод формування навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, реалізованої на основі згорткової нейронної мережі. Застосування розробленого методу дозволяє забезпечити репрезентативність навчальної вибірки за рахунок врахування параметрів, що впливають на результати розпізнавання об'єктів на аерофотознімках.

Ключові слова: повітряна розвідка, розпізнавання, згорткова нейронна мережа, навчальна вибірка.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з основних етапів дешифрування зображень на аерофотознімках, отриманих за результатами повітряної розвідки, є розпізнавання об'єктів повітряної розвідки. В процесі розпізнавання роздільно сприймаються та аналізуються складові ознаки (елементи, деталі) об'єкта і встановлюється сутність (тип, клас і та ін.) виявленого об'єкта. Також під етапом розпізнавання розуміється процес машинного або автоматизованого аналізу об'єктів (образів) та їх ознак на зображеннях з метою визначення належності об'єкта до певного класу [1].

На даний час найкращі результати з розпізнавання об'єктів на зображеннях в ході автоматизованого аналізу об'єктів (образів) показують згорткові нейронні мережі [2]. Згорткові нейронні мережі, як і інші системи розпізнавання з навчанням, функціонують в двох режимах – режим навчання та розпізнавання [3].

Навчання можливе лише тоді, коли за апріорною інформацією про об'єкти розпізнавання визначається алфавіт класів та присутня навчальна вибірка, яка описує об'єкти всього алфавіту класів. При цьому, навчальна вибірка повинна забезпечувати всю сукупність ознак, за якими здійснюється розпізнавання та повинна бути репрезентативною. Під репрезентативністю розуміється відповідність характеристик вибірки характеристикам генеральної сукупності в цілому [4].

В той же час, проблема створення репрезентативних навчальних вибірок зображень для навчання згорткових нейронних мереж повністю не вирішена. Сучасні наукові дослідження в галузі навчання систем розпізнавання з використанням згорткових нейронних мереж проводяться, як правило, на навчальних вибірках з готових баз зображень, наприклад, SVHN, Imagenet 2012, CIFAR100 та інші. Але навчальні вибірки з відповідних баз зображень не мо-

жна розглядати як репрезентативні вибірки, що використовуються в інтересах навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки. Ці вибірки розглядаються, як такі, що не включають об'єкти, зображення яких отримані за результатами аерофотозйомки, та які не представляють інтерес для повітряної розвідки.

В зв'язку з цим, в роботі пропонується метод формування навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, реалізованої на основі нейронної згорткової мережі.

Аналіз публікацій. На даний час існує достатня кількість публікацій, в яких розглядаються питання формування навчальних вибірок для навчання систем розпізнавання різного класу, в тому числі для систем розпізнавання на основі використання загорткових нейронних мереж [5, 6].

В той же час питання формування навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, реалізованої на основі нейронної згорткової мережі, у відповідних публікаціях не розглядаються.

Метою статті є забезпечення репрезентативності навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, реалізованої на основі нейронної згорткової мережі.

Основний матеріал

Як вже зазначалося, на даний час проблема формування репрезентативних навчальних вибірок зображень для навчання згорткових нейронних мереж, у тому числі в інтересах автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, повністю не вирішена. Більшість наукових досліджень в галузі навчання систем розпізнавання проводиться на готових навчальних вибірках (табл. 1).

В загальному випадку існує кілька підходів до формування репрезентативних вибірок. Один з них

полягає у випадковому виборі навчальних прикладів з усієї генеральної сукупності можливих прикладів. Але стосовно прикладів за результатами аерофотозйомки такий підхід не є доцільним, оскільки наявний матеріал не завжди повністю описує всі об'єкти повітряної розвідки. Іншим негативним фактором є те, що аерофотоматеріали отримуються з баз даних, які розроблялися під конкретну задачу, наприклад картографія, або моніторинг територій. Як правило, такі задачі вимагають виконання аерофотозйомки в

один і той же час доби, в одну і ту ж саму погоду та пору року. Це призводить до нерівномірного розподілу прикладів, тобто частота появи знімків в різний час (доби, пори року) неоднакова, що в свою чергу суперечить вимогам рівномірності. Під рівномірністю розподілу класів розуміється факт того, що приклади різних класів будуть представлені у вибірках в однакових пропорціях між класами, якщо ймовірність появи класів об'єктів на зображеннях, що розпізнаються однакові.

Таблиця 1

Приклади існуючих навчальні вибірок зображень, що використовуються для навчання систем розпізнавання зображень

Назва навчальної вибірки	Кількість прикладів, N	Кількість класів	Розміри зображень, пікселів (кольорів)	Помилка класифікації	Кількість параметрів мережі, h
MNIST	60 000 навчальних, 10 000 тестових	10	28x28x1	0,23%	300 000
SVHN	73 257 навчальних, 26 036 тестових	10	32x32x3	1,94%	1 860 000
CIFAR10	50 000 навчальних, 10 000 тестових	10	32x32x3	3,47%	600 000
NORB	24 300 навчальних, 24 300 тестових	50	32x32x2	7.1%	300 000- 1 000 000
Imagenet 2012	1 281 167 навчальних, 50 000 тестових	1000	256x256x3	15,3%	60 000 000- 138 000 000
CIFAR100	50 000 навчальних, 10 000 тестових	20/100	32x32x3	31,75%	1 870 000

Іншим підходом до формування навчальної вибірки є зональний підхід. Він полягає в тому, що генеральну сукупність можливих зображень ділять на групи за параметрами, що впливають на результати розпізнавання. Для аерофотоматеріалів, триманих за результатами повітряної розвідки, такими параметрами є [7]: алфавіт класів об'єктів, детальність зйомки, ракурс зйомки, поворот об'єктів, форма об'єктів, контраст об'єктів і фону, наявність або відсутність тіні у об'єктів.

Відповідно до визначених параметрів, що впливають на результати розпізнавання, визначимо основні операції зі складу методу формування навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки, реалізованої на основі нейронної згорткової мережі:

- 1) визначення алфавіту класів об'єктів повітряної розвідки;
- 2) визначення детальності зйомки;
- 3) вибір ракурсу зйомки;
- 4) визначення площини повороту об'єктів повітряної розвідки;
- 5) встановлення форми об'єктів повітряної розвідки з урахуванням класів, підкласів та типів об'єктів;

6) визначення контрасту об'єктів і фону на зображеннях, отриманих за результатами повітряної розвідки;

7) встановлення наявності або відсутності тіні у об'єктів повітряної розвідки.

Розглянемо сутність відповідних операцій більш детально для методу формування навчальної вибірки.

Алфавіт класів об'єктів повітряної розвідки, що будуть розпізнаватися, визначається в залежності від задач, для вирішення яких використовується підсистема розпізнавання. В даній роботі представлено алфавіт, що складається з десяти класів об'єктів повітряної розвідки, а саме: танк, самохідна артилерійська установка, бронетранспортер, бойова машина піхоти, броневий автомобіль, артилерійська гармата, легковий автомобіль, вантажний автомобіль, вертоліт (на аеродромі).

В даному випадку всі ці класи можна віднести до наземної військової техніки.

Кількість прикладів в кожному з наведених класів повинна задовольняти вимогам рівномірності для навчальної вибірки.

Детальність зйомки залежить від фокусної відстані, роздільної здатності оптико-електронних засобів, висоти зйомки та визначається як

$$d = \frac{H}{2 \cdot R \cdot f} \quad (1)$$

де f – фокусна відстань об’єктива знімального обладнання;

R – роздільна здатність оптико-електронних засобів повітряної розвідки,

H – висоти зйомки об’єктів повітряної розвідки.

Так в роботі [8] експериментально визначено, що для правильного розпізнавання в світлу безхмарну погоду доби об’єкта типу автомобіль розміром 4x1,6 м з ймовірністю не менше 0,9 детальність зйомки повинна бути не більше 0,5 м. Мінімальна висота зйомки обмежує детальність знизу. Детальність матеріалів отриманих на гранично малих висотах починається з 0,1 м. Таким чином діапазон можливих значень детальності як параметра навчальної вибірки становить 0,1-0,5 м. Виразивши з формули (1) величину H , можливо також розрахувати діапазон допустимих висот зйомки для конкретного знімального обладнання.

Наступним параметром є ракурс зйомки. Аерозйомка за положенням оптичної осі знімальної апаратури поділяється на планову та перспективну. Планова аерозйомка виконується при відхиленні оптичної осі знімального обладнання від вертикалі на кути не більше 20-30°. Перспективна аерозйомка виконується при відхиленні оптичної осі знімального обладнання від вертикалі на 20-30° і більше. Але в більшості випадків відхилення складає 45°. Це призводить до масштабних та лінійних спотворень, що значно ускладнює розпізнавання об’єктів за результатами такої аерозйомки. Для побудови навчальної вибірки для системи розпізнавання обмежимося плановою аерофотозйомкою. В такому випадку діапазон відхилення оптичної осі знімального обладнання від вертикалі буде становити 0-30°.

Поворот об’єкта повітряної розвідки відносно ракурсу для планової аерозйомки можливий лише в горизонтальній площині. Поворот може здійснюватися в діапазоні 0-360°. Форма об’єктів повітряної розвідки однозначно задається алфавітом визначених вище десяти класів. Але необхідно враховувати,

що кожний з наведених класів включає в себе різні підкласи та типи об’єктів, форма яких, в свою чергу, може відрізнятися.

Контраст об’єктів повітряної розвідки і фону на зображеннях залежить від кольору та яскравості об’єктів та фону, освітлення місцевості, стану атмосфери, властивостей знімального обладнання. Розпізнавання об’єктів можливе за умови коли показник модулю оптичного контрасту $|K|$ приймає значення, відмінні від 0, а ймовірність розпізнавання збільшується при наближенні модуля оптичного контрасту до 1. Розраховується оптичний контраст відповідно наступного виразу

$$K = \frac{V_o - V_\phi}{V_o}, \quad (2)$$

де V_o – яскравість об’єкта;

V_ϕ – яскравість фону.

Оскільки зображення об’єктів повітряної розвідки та фону складаються з набору пікселів, то варто використовувати середні значення яскравостей об’єктів та фону відповідно виразів

$$\bar{V}_o = \frac{1}{i} \sum_i x_o, \quad (3)$$

$$\bar{V}_\phi = \frac{1}{i} \sum_i x_\phi, \quad (4)$$

де \bar{V}_o – середня яскравість всіх пікселів, що належать об’єкту,

x_o – значення яскравості пікселів, що належать об’єкту,

\bar{V}_ϕ – середня яскравість всіх пікселів, що належать фону,

x_ϕ – значення яскравості пікселів, що належать фону \bar{V}_ϕ та x_ϕ фону відповідно.

На аерофотознімках, що отримані за реальних умов, показник модулю оптичного контрасту $|K|$ може приймати значення від 0,2 до 0,4. Величина x змінюється в межах від 0 до 256 для кожного кольору RGB.

Таблиця 2

Параметри синтезованої навчальної вибірки

Параметр	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дискретність	Кількість
Детальність зйомки	0,1 м	0,5 м	0,05 м	$N_d=8$
Ракурс зйомки	0°	30°	10°	$N_{\text{рак}}=3$
Поворот об’єкта	0°	360°	20°	$N_{\text{пов}}=18$
Контраст об’єкта і фону	0,2	0,4	0,05	$N_K=4$
Поворот тіні	0°	360°	60°	$N_{\text{тіні}}=6$
Алфавіт класів	-	-	-	$N_{\text{клас}}=10$
Підкласів	-	-	-	$N_{\text{підкл}}=3$
Типів	-	-	-	$N_{\text{тип}}=2$

Тому в процесі формування навчальної вибірки доцільно використовувати зображення, які також попадають у вказаний діапазон. Якщо зображення будуть синтезуватися штучно для збільшення навчальної вибірки, необхідно їх зашумляти звичайним білим шумом.

В залежності від пори року, часу доби та погодних умов формуються різні тіні одного і того ж самого об'єкта повітряної розвідки. В навчальну вибірку мають бути включені зображення з різними тіннями для кожного з об'єктів та без них. Так тінь падає від об'єкта під всіма кутами повороту від 0° до 360°. Для формування навчальної вибірки пропонується зафіксувати положення сонця відносно об'єкта, а змінювати лише поворот об'єкта в горизонтальній осі.

Кількість прикладів сформованої навчальної вибірки N залежить від кількості градацій кожного параметру та обчислюється відповідно до виразу

$$N = N_d \cdot N_{\text{рак}} \cdot N_{\text{пов}} \cdot N_K \cdot N_{\text{тіні}} \cdot N_{\text{клас}} \cdot N_{\text{підкл}} \cdot N_{\text{тип}}, \quad (5)$$

де N_d – кількість градацій детальності,

$N_{\text{рак}}$ – кількість градацій ракурсу,

$N_{\text{пов}}$ – кількість градацій повороту об'єкта,

N_K – кількість градацій контрасту об'єкта та фону,

$N_{\text{тіні}}$ – кількість градацій тіні,

$N_{\text{клас}}$ – кількість класів об'єктів,

$N_{\text{підкл}}$ – кількість підкласів кожного класу об'єктів,

$N_{\text{тип}}$ – кількість типів кожного підкласу об'єктів.

Наприклад, у випадку, наведеному в табл. 2, навчальна вибірка становитиме $N=622\ 080$ синтезованих прикладів зображень.

Висновки

В роботі розроблено метод формування навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної

розвідки, реалізованої на основі нейронної згорткової мережі. Врахування в методі параметрів, що впливають на результати розпізнавання об'єктів, є основою для забезпечення репрезентативності навчальної вибірки зображень для навчання підсистеми автоматизованого розпізнавання об'єктів повітряної розвідки.

Список літератури

1. Лялька В.І. Словник із дистанційного зондування Землі [Текст] / В.І. Лялька, М.О. Попова. – Київ: СМП "АВЕРС", 2004. – 170 с.
2. Krizhevsky A. Imagenet classification with deep convolutional neural networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton // *Advances in neural information processing systems*. – 2012. – P. 1097-1105.
3. Воронцов К.В. Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов / К.В. Воронцов // *Математические вопросы кибернетики*. – 2004. – Т. 13. – С. 5-36.
4. Кобзарь Л.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / Л.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 814 с.
5. Субботин С.А. Комплекс характеристик и критериев сравнения обучающих выборок для решения задач диагностики и распознавания образов / С.А. Субботин // *Математические машины и системы*. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 5-12.
6. Галушка В.В. Формирование обучающей выборки при использовании искусственных нейронных сетей в задачах поиска ошибок баз данных / В.В. Галушка, В.А. Фатхи // *Инженерный вестник Дона*. – 2013. – Т. 25, № 2 (25). С. 34-39.
7. Іващук Б.М. Розвідувальне обладнання літальних апаратів. Навчальний посібник / Б.М. Іващук, С.Ю. Мареннич, С.І. Овчаренко. – Х.: ХУПС, 2011. – 170 с.
8. Zhao T. Car detection in low resolution aerial images / T. Zhao, R. Nevatia // *Image and Vision Computing*. – 2003. – Т. 21, № 8. – С. 693-703.

Надійшла до редколегії 12.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ

О.Ю. Лавров

В статье разработан метод формирования обучающей выборки изображений для обучения подсистемы автоматизированного распознавания объектов воздушной разведки, реализованной на основе сверточной нейронной сети. Применение разработанного метода позволяет обеспечить репрезентативность обучающей выборки за счет учета параметров, влияющих на результаты распознавания объектов на аэрофотоснимках.

Ключевые слова: воздушная разведка, распознавание, сверточная нейронная сеть, обучающая выборка.

THE METHOD OF GENERATION TRAINING IMAGES DATASET FOR LEARNING SUBSYSTEMS OF AUTOMATING RECONNAISSANCE AERIAL OBJECT

O.Yu. Lavrov

The method of generation training images dataset for learning subsystems of automating reconnaissance aerial object, which based on convolutional neural network was developed in article. Using this method allows to provide representativity of training dataset at the expense of parameters witch influence on results of aerial reconnaissance

Keywords: aerial reconnaissance, detection, convolutional neural network, training dataset.