

УДК 530.1.537.86+621.396.96

С. Т. Полторак, Р. Е. Пащенко, Т. А. Сутюшев

ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ З РОЗПІЗНАВАННЯ ХАРАКТЕРУ РУХУ ГРУПИ ЛЮДЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МОЖЛИВОСТЕЙ ВІТЧИЗНЯНИХ ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ

Розглянуто можливість підвищення рівня розвідувального забезпечення службово-бойової діяльності підрозділів внутрішніх військ за рахунок використання наземних радіолокаційних станцій ближньої розвідки. Наведено експериментальні результати дистанційного розпізнавання характеру руху групи людей – “учасників масових заворушень” в умовах поганого бачення завдяки застосуванню вітчизняних РЛС з використанням сучасних технологій щодо поширення їх експлуатаційних можливостей.

Ключові слова: група людей (натовп), радіолокаційна станція (РЛС), фазовий портрет, фрактальна розмірність.

Постановка проблеми. На сьогодні, з нашого погляду, є певна необхідність у підвищенні рівня розвідувального забезпечення службово-бойової діяльності підрозділів внутрішніх військ (ВВ) за рахунок використання можливостей сучасних технічних засобів розвідки. Особливої гостроти ця проблема набуває у випадках необхідності дистанційного виявлення та розпізнавання груп людей (натовпу), наприклад, з числа учасників масових заворушень, в умовах поганого бачення. Серед зразків технічних засобів розвідки певні можливості для вирішення зазначеної проблеми мають вітчизняні наземні РЛС ближньої розвідки, що працюють у сантиметровому діапазоні. Однак слід зазначити, що ці серійні зразки не дозволяють у межах їх технічних та експлуатаційних можливостей вирішувати завдання саме з розпізнавання характеру руху групи людей, для того щоб зробити висновки про стан цих груп (натовпу) та прогнози їх намірів. Тому для розв’язання зазначеної проблеми необхідні нові сучасні технологічні підходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних радіолокаційних системах уся зростаюча увага приділяється вимірюванню некоординатних параметрів [1]. Подібні РЛС можуть проводити вимір амплітудних діаграм розсіювання або повної матриці розсіювання. У результаті відповідної обробки можуть бути отримані такі характеристики об’єкта, як його ефективна площа розсіювання і геометричні розміри, а також форма відбитого сигналу. Кінцевою метою одержання зазначених параметрів у більшості випадків є вирішення завдання селекції й розпізнавання об’єктів.

Основна мета розпізнавання об’єктів полягає у тому, щоб визначити, до якого класу він належить. У процесі розпізнавання мають

справу з набором цілей, розподілених за тим або іншим міркуванням на неперетинні множини – класи [2]. Кожному класу об’єктів зіставляються певні ознаки (відповідно до технічних можливостей РЛС), тобто використовується словник ознак. Основним завданням виділення ознак під час розпізнавання об’єктів є зменшення розмірності простору ознак без зміни розподілу класів. Крім того, необхідно, щоб вихідний простір ознак був інваріантним до низки збурювальних факторів, наприклад, впливу умов розповсюдження радіохвиль.

Застосування систем селекції рухомих цілей (СРЦ) у когерентно-імпульсних РЛС дозволяє ефективно виділяти різні об’єкти, що рухаються, а також за частотою звуку в головних телефонах здійснювати їхнє розпізнавання за швидкістю руху (людини, автомобіля і т. д.) [3]. Однак у разі невеликих змін частоти Доплера визначення характеру рухів об’єкта (наприклад, група людей, яка рухається організовано або неорганізовано, що розмахує руками, що переповзає) є досить складним завданням, і практично здійснити це з використанням штатних засобів індикації РЛС стає неможливим.

У цій статті аналізуються сигнальні вибірки з виходу фазового детектора (вхід телефонів), що отримані експериментально під час зондування групи людей, що рухаються, імпульсною РЛС сантиметрового діапазону [4].

При цьому аналізуюча вибірка являє собою накопичені за певний проміжок часу (одну секунду) низькочастотні коливання, промодульовані частотою Доплера. Різний характер рухів приводить до зміни аналізованого сигналу за амплітудою, фазою,

частотою та формою. Для одержання інформації про характер рухів об'єкта зондування вбачається актуальним аналіз форми (структури) сигналу.

Протягом останніх років перспективним напрямком у дослідженні різноманітних структур стає використання нових математичних методів, що ґрунтуються на застосуванні нелінійних процедур (реконструкція атракторів, фрактальний аналіз, вейвлет аналіз) [5, 6]. Ці методи також успішно застосовуються для аналізу сигналів [7].

Мета статті – розглянути можливість розпізнавання і селекції характеру рухів групи людей за даними вітчизняної когерентно-імпульсної РЛС із використанням фазових портретів та фрактальної розмірності.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження можливості розпізнавання характеру рухів групи людей проводилися на базі навчального центру Академії внутрішніх військ МВС України.

Завдання одержання сигналів з виходу фазового детектора під час зондування групи людей, що рухається, вирішувалося апаратно-програмним методом і містило в собі реєстрацію сигналів та їхню підготовку до обробки. Основними елементами експериментальної установки були вітчизняна когерентно-імпульсна РЛС сантиметрового діапазону (простий сигнал, $\lambda = 1,8$ см, $\tau_i = 0,4$ мкс) [4], цифровий осцилограф (аналого-цифровий перетворювач – АЦП) та персональний комп'ютер (ПЕОМ). Структурну схему проведення експерименту наведено на рис. 1.

Сигнали з виходу фазового детектора (виходу головних телефонів) РЛС за допомогою цифрового осцилографа (частота дискретизації АЦП $f_d = 20$ МГц, розрядність 1024 дискрет) перетворювалися у цифрові коди і зберігалися у пам'яті ПЕОМ для подальшого аналізу. Отриманий цифровий код за допомогою відповідного програмного забезпечення цифрового осцилографа було подано у вигляді текстового файлу, доступного для різних комп'ютерних математичних пакетів.

У процесі проведення досліджень положення діаграми спрямованості в азимутальній і кутomisцевій площинах фіксувалося (задавалася траса зондування). Запис проводився під час настроювання строба дальності радіолокаційної станції на певну дистанцію на трасі зондування ($D = 350$ м).

На трасі зондування на інтервалі дальності від 250 до 450 м розташовувалася група людей, що здійснювала різні рухи: пересувалася кроком організовано; неорганізовано; неорганізовано й розмахуючи руками; переповзала; пересувалася колоною і шеренгою.

Характер рухів групи людей оператор РЛС спостерігав на вбудованому індикаторі системи СРЦ і здійснював їхнє розпізнавання за звуком у штатних головних телефонах. Крім того, сигнали, що відповідають різному характеру рухів, із виходу головних телефонів подавалися на цифровий осцилограф і записувалися на жорсткий диск ПЕОМ. Зафіксовані у цифровому вигляді реалізації сигналів надалі використовувалися для аналізу їхньої форми.

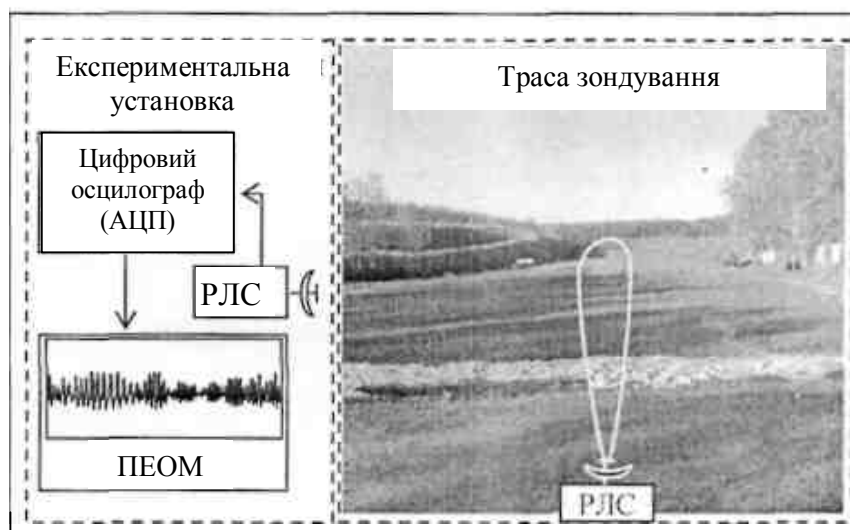


Рис. 1. Структурна схема експерименту

Тепер щодо розпізнавання характеру руху групи людей за даними експерименту. Для вирішення завдання розпізнавання характеру руху людини застосуємо метод аналізу структури сигналів з використанням фазових портретів і фрактальної розмірності, що описаний у [7]. У ньому для якісного дослідження властивостей сигналів, які неможливо або важко досліджувати аналітично, використовується побудова фазового портрета у псевдофазовій площині, а для кількісного оцінювання форми сигналів – фрактальна розмірність.

На рис. 2 наведені часові реалізації сигналів з виходу фазового детектора, отримані експериментально, у випадках зондування: фону на трасі (а); групи людей, що йде організовано (б); групи людей, що йде неорганізовано, (в); неорганізованої групи людей, що розмахує руками (г); переповзаючої групи людей (д); групи людей, що йде колоною (е); групи людей, що йде шеренгою (ж).

Візуальний аналіз вихідних часових рядів свідчить про те, що сигнали з виходу фазового детектора змінюються залежно від характеру рухів групи людей. Однак розпізнавання в цих умовах є важким завданням і може призвести до помилок у визначенні характеру рухів. Так, сигнали, отримані у випадку руху організованої й неорганізованої груп людей, практично не розрізняються (рис. 2б і 2в), а сигнал, одержаний у разі переповзання групи людей, схожий на сигнал від групи людей, що розмахує руками (рис. 2д і 2г), які, у свою чергу, практично не відрізняються від фоновому сигналу (рис. 2а), тобто ці сигнали у головних телефонах і на екрані індикатора системи СРЦ не різняться, і розпізнати характер рухів з використанням штатних засобів РЛС неможливо. Крім того, розпізнавання групи людей, що йдуть колоною і шеренгою, також неможливе, тому що часові реалізації цих сигналів практично не розрізняються (рис. 2е і 2ж).

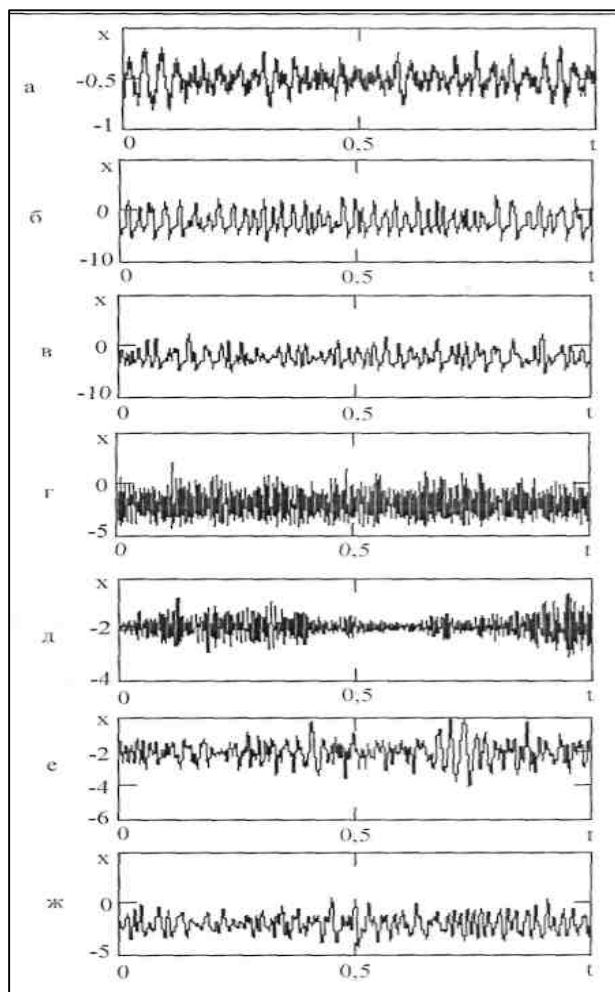


Рис. 2. Часові реалізації сигналів з виходу фазового детектора, отримані у результаті експерименту

На рис. 3 зображені фазові портрети сигналів з виходу фазового детектора, побудовані при часовій затримці $\tau = 50$ точок часового ряду, що близько до першого нуля автокореляційної функції вихідних часових рядів. Літерні позначення на рис. 3 відповідають позначенням характеру руху людини, уведеним на рис. 2.

Аналіз даних рис. 3 засвідчує, що форма фазових портретів має відмінні риси; це дозволяє здійснити розпізнавання характеру рухів групи людей. Як видно із цього рисунка, фазові портрети групи людей, які рухаються, явно відрізняються від фазового портрета фону. Особливо виділяється фазовий портрет організованої групи (див. рис. 3б), що дає змогу за його формою здійснювати селекцію цього виду руху. Фазовий портрет сигналу від неорганізованої групи людей (див. рис. 3е) має

згладжені форми порівняно з організованою групою. Це дозволяє поділити (розпізнати) дані рухи, що було неможливим за часовими реалізаціями. Згладженість форми фазового портрета обумовлена не синхронними (неорганізованими) рухами групи людей, що спричиняє випадкову зміну фази сигналу.

Якщо за часовими реалізаціями сигналів, отриманих у випадках розмахування руками групою людей (рис. 2г) та їх переповання (рис. 2д), неможливо було виділити ці рухи із фону, то характерний вигляд фазових портретів (див. відповідно рис. 3г і 3д) дозволяє впевнено розпізнати ці рухи як на фоні підстильної поверхні, так і між собою. Фазові портрети сигналів, отриманих під час пересування групи людей колоною і шеренгою (рис. 3е і 3ж відповідно), являє собою сумішку фазових портретів фонового сигналу і неорганізованої

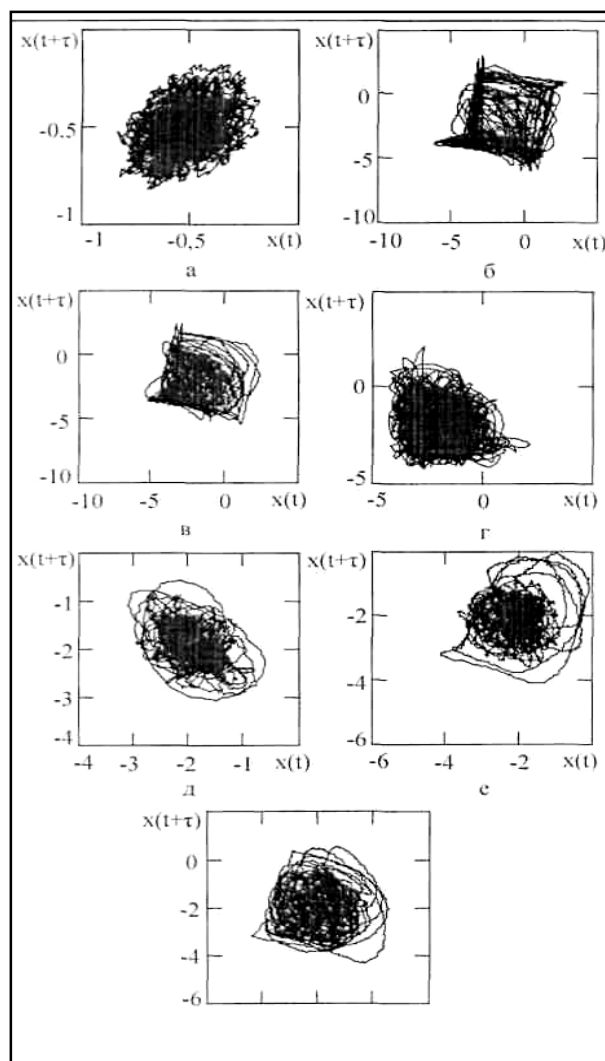


Рис. 3. Фазові портрети сигналів з виходу фазового детектора

групи, що йде. Це обумовлено, насамперед, тим, що при такому русі у межі елемента розрізняються потрапляють окремі фрагменти, а не вся група людей. При цьому за формою фазового портрета практично неможливо розпізнати пересування групи людей, які рухаються неорганізовано (рис. 3в), і тих, що йдуть шеренгою (рис. 3ж). Фазовий портрет групи людей, які пересуваються колоною (рис. 3е), має низку особливостей, що дозволяє зробити розпізнавання, однак у цілому за допомогою цього фазового портрета здійснити поділ рухів типу “неорганізовано”, “шеренгою” та “колоною” важко.

Таким чином, використання фазових портретів дає змогу якісно досліджувати властивості сигналів з виходу фазового детектора. Специфічні особливості фазових портретів, обумовлені характером рухів, дозволяють здійснити достовірне розпізнавання групи людей, що пересувалася кроком організовано, неорганізовано, неорганізовано й розмахуючи руками, а також переповзала. Розпізнавання групи людей, які пересуваються колоною і шеренгою, здійснювати важко, тому що фазові портрети сигналів схожі між собою і подібні до фазового портрета сигналу у разі неорганізованого руху.

Для кількісної оцінки характеру рухів групи людей проведемо аналіз фрактальних властивостей сигналів з виходу фазового детектора (виходу головних телефонів), отриманих у результаті експерименту.

У таблиці наведені чисельні значення фрактальних розмірностей часових реалізацій сигналів, що відповідають розглянутим вище характеристикам рухів групи людей (див. рис. 2). Для розрахунку фрактальної розмірності застосовувався найбільш часто використовуваний на практиці метод покриття [5, 6].

Аналіз даних таблиці свідчить, що розмір фрактальної розмірності залежить від зміни характеру рухів групи людей [ступеня порізаності (флуктуації) сигналу], що дозволяє чисельно оцінити фрактальні властивості сигналу з виходу фазового детектора.

Як і при використанні фазового портрета, фрактальна розмірність сигналу, отриманого при зондуванні групи людей, що йде організовано ($D = 1,6495$), істотно відрізняється від фрактальної розмірності фоновому сигналу ($D = 1,5328$), що дозволяє використати фрактальну розмірність для розпізнавання і селекції характеру руху даного виду.

Особливо виділяється фрактальна розмірність сигналу, отриманого під час зондування неорганізованої групи людей, які розмахують руками ($D = 1,6979$). Такий вид рухів приводить до того, що сигнал з виходу фазового детектора має найбільший ступінь порізаності. Це обумовлює те, що величина фрактальної розмірності є найбільшою. Така величина фрактальної розмірності дозволяє виділити зазначений вид рухів групи людей на фоні підстильної поверхні.

Фрактальні розмірності сигналів, отриманих у випадках переповзання групи людей і руху колоною, відрізняються від фонові не так значно (відповідно на величину $\Delta D = 0,0315$ і $\Delta D = 0,0517$), як у разі організованого руху й розмахування руками, але навіть така відмінність дозволила поділити ці сигнали і розпізнати ці рухи.

Найбільш важким завданням у процесі розпізнавання характеру рухів виявився поділ сигналів у разі зондування групи людей, що пересуваються неорганізовано і йдуть шеренгою. Так, фрактальні розмірності сигналу від неорганізованої групи людей ($D = 1,6199$) практично не відрізняються від фрактальної розмірності руху шеренгою ($D = 1,6166$)

Фрактальні розмірності часових реалізацій сигналів

Характер рухів групи людей	Фрактальна розмірність, D
Фон	1,5328
Що йде, організована	1,6495
Що йде, неорганізована	1,6199
Неорганізована, що розмахує руками	1,6979
Що переповзає	1,5643
Що йде колоною	1,5845
Що йде шеренгою	1,6166

$\Delta D = 0,0033$. Тому за величиною фрактальної розмірності ці види рухів групи людей розпізнати неможливо.

Таким чином, використання фрактальної розмірності під час розпізнавання і селекції характеру рухів групи людей дозволило виділити недоступні візуальному аналізу приховані закономірності форми сигналу з виходу фазового детектора.

Висновки

1. Основою розпізнавання і селекції характеру рухів групи людей є аналіз структури сигналів з виходу фазового детектора когерентно-імпульсної РЛС із використанням фазових портретів і фрактальних розмірностей.

2. Подання сигналів з виходу фазового детектора у вигляді фазових портретів дозволяє якісно досліджувати властивості сигналів, отримані в результаті проведення експерименту. Специфічні особливості фазових портретів, обумовлені характером рухів групи людей, дали змогу впевнено розпізнати групи людей, що пересувалися кроком організовано, неорганізовано, неорганізовано й розмахуючи руками, а також здійснювали переповзання. Розпізнавання груп людей, що пересуваються колоною і шеренгою, викликає певні утруднення.

3. Використання фрактальної розмірності під час розпізнавання і селекції характеру руху людини дозволяє виділяти недоступні візуальному аналізу приховані закономірності форми сигналу з виходу фазового детектора. За величиною фрактальної розмірності поділити рухи групи людей, що пересуваються неорганізовано і йдуть шеренгою, неможливо.

4. Отримані результати дають підставу стверджувати про їх практичну цінність для розпізнавання характеру руху групи людей, наприклад, учасників масових заворушень, що має суттєве значення для прийняття або уточнення рішення на відповідні тактичні дії підрозділів ВВ.

Список використаних джерел

1. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов [Текст] / под ред. Л. Т. Тучкова. – М. : Радио и связь, 1985. – 236 с.
2. Селекция и распознавание на основе локационной информации [Текст] / под ред. А. Л. Горелика. – М. : Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Радиотехнические системы [Текст] / под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
4. Изделие 1РЛ133. Техническое описание. БД 1.400.009 ТО [Текст]. – 1974. – 232 с.
5. Мун Ф. Хаотические колебания : вводный курс для научных работников и инженеров [Текст] / Ф. Мун. – М. : Мир, 1990. – 312 с.
6. Федер Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
7. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов : кол. моногр. / под ред. Р. Э. Пащенко. – Х. : НЭО “ЕкоПерспектива”, 2006. – 348 с.

Стаття надійшла до редакції 28.06.2012 р.