

«Алгоритми первинної обробки радіолокаційних та радіонавігаційних сигналів на базі новітніх інформаційних технологій»

Основні наукові результати

Дана загальна порівняльна характеристика ефективності відомих і пропонуваніх алгоритмів первинної обробки радіолокаційної і радіонавігаційної інформації:

– вивчені статистичні моделі типових перешкод і їхніх сумішей з радіолокаційними сигналами і зазначені форми їхнього аналітичного опису; систематизовані критерії, що забезпечують можливість порівняння ефективності і якості як алгоритмів, так і апаратних засобів первинної обробки інформації;

– проведений порівняльний аналіз перспективних для радіолокаційних додатків непараметричних алгоритмів виявлення сигналів, що використовують критерії знаків, Вілкоксона і їхньої модифікації. При цьому основна увага приділялася питанням оцінки ефективності алгоритмів в умовах впливу на виявлювач корельованих гаусових і негаусових перешкод. Установлено, що незважаючи на те, що потужність критерію Вілкоксона на 1–2 дБ вище потужності знакового, застосування останнього переважніше, принаймні, у силу наступних причин. По-перше, виявлювач знаків простіше в технічному виконанні. По-друге, критерій знаків забезпечує велику стійкість імовірності помилкової тривоги при зміні розподілу перешкод у порівнянні з критерієм Вілкоксона, оскільки знаковий виявлювач зберігає стабільність ВЛТ навіть у тому випадку, якщо розподіл відліків перешкоди міняється від одного зондування до іншого, у той час як при цих умовах критерій Вілкоксона такої стійкості не забезпечує, навіть якщо всі відліки перешкоди у вибірковому обсязі попарно незалежні;

– запропонована модифікована процедура Вілкоксона з обмеженою глибиною пам'яті, у якій практично без втрати потужності алгоритму досягається істотне скорочення обсягу устаткування, необхідного для технічної реалізації виявлювача. Розроблено аналітичні основи аналізу ефективності таких алгоритмів; вивчені властивості ряду квазінепараметричних алгоритмів виявлення радіолокаційних сигналів. Такі виявлювачі мають потужність, порівнянну з параметричними, і в той же час забезпечують більш високу стійкість імовірності помилок першого роду до варіацій розподілів перешкод, в окремих випадках не уступає непараметричним критеріям. Робастні алгоритми допускають обробку вхідної інформації в реальному масштабі часу, тоді як, скажемо, порівнянні з ними по ефективності виявлювачі Вілкоксона в принципі позбавлені такої можливості, оскільки вимагають попереднього запам'ятовування усього вибіркового обсягу даних з наступною їх обробкою. Виявлено цікаві особливості робастних алгоритмів при логарифмічному перетворенні відліків спостережень. У широкому класі розподілів перешкод такі виявлювачі зберігають прийнятну стійкість імовірності помилкової тривоги, а в класі гаусових розподілів забезпечують істотно непараметричні (стосовно потужності перешкоди) властивості;

– з використанням апарата теорії марковських кіл розроблена методика аналізу алгоритмів стабілізації імовірності помилкової тривоги в цифрових виявлювачах сигналів з автоматичним регулюванням порогів квантування. Установлено, що розімкнута багатоканальна система АРПК забезпечує в порівнянні з замкнутою більш високу ефективність виявлення сигналів і істотно менший час вибору порога квантування (чи час перехідного процесу при стрибкоподібних змінах потужності перешкоди); доведено, що потужність рангових виявлювачів сигналів інваріантна стосовно монотонно-неспадаючих безінерційних нелінійних функціональних перетворень відліків радіолокаційного процесу не тільки для незалежних спостережень (це положення відоме по літературних джерелах), але і для випадку просторово-часової залежності відліків процесу;

– на основі апроксимації послідовностей спостережень радіолокаційного процесу багатоз'язаними колами Маркова розроблена методика оцінки ефективності алгоритмів виявлення корельованих сигналів на малих обсягах вибірки, при яких нормальна апроксимація перевіркової статистики неприпустима, а залежність відліків виключає можливість використання біноміальних співвідношень; обґрунтована процедура оптимізації порогів квантування в аналого-цифрових перетворювачах, що забезпечує мінімум імовірностей зв'язку дискретизованих відлі-

ків у непараметричних рангових виявлювачах радіолокаційних сигналів. Доведено, що цей мінімум досягається таким розміщенням порога квантування, при якій імовірності улучення вибірових відліків огинаючих процесу однакові для всіх інтервалів квантування;

– розроблено алгоритм формування реалізацій стохастичних ортогональних послідовностей на базі трансверсального цифрового фільтра, імпульсна характеристика якого задається дискретними функціями Уолта, який дозволяє досить просто (з технічної точки зору) у реальному часі формувати дискретні стохастичні ортогональні базиси у евклідовому просторі випадкових послідовностей; дослідження властивостей стохастичних ортогональних розкладань для різних типів базисів (у розумінні розподілу породжуючого процесу) показали, що найкращу збіжність (з точки зору швидкості) мають ряди, для яких породжуючий процес має нормальний розподіл. Трохи гірша збіжність для рядів, у яких породжуючий процес має гамма-розподіл. Найбільш повільно збігаються ряди, для яких базис породжується пуассонівським процесом. Така розбіжність у збіжності обумовлена тим, що гауссівський процес має ненульові лише перші два семі інваріанти, а для пуассонівського відмінними від нуля є всі семіінваріанти і вони дорівнюють параметру λ ;

– розроблено алгоритм дослідження статистичних властивостей оцінок узагальнених коефіцієнтів Фур'є дискретних випадкових послідовностей, реалізація якого дала можливість показати їх асимптотичну нормальність. Це дозволяє із використанням гіпотези нормальності оцінок узагальнених коефіцієнтів Фур'є будувати на практиці прості алгоритми виявлення та розрізнення випадкових сигналів, що описуються моделлю лінійного випадкового процесу;

– практика розрахунків показала збереження їх високої точності й, що найголовніше, порівняну простоту формул, рекурентний характер алгоритмів, гнучкість відносно варіації вихідних даних та простоту інтерпретації результатів; проведений аналіз дозволяє сформулювати загальний висновок про те, що непараметричні і робастні алгоритми виявлення сигналів являють собою кращу альтернативу параметричним і можуть бути рекомендовані для практичного використання в системах обробки радіолокаційної і радіонавігаційної інформації;

– розглянуто три альтернативних підходи до побудови алгоритмів виявлення сигналу. Ці підходи приводять до процедур виявлення із приблизно ідентичною ефективністю. Показано взаємозв'язок параметричних і непараметричних підходів; використання ядерних оцінок характеристичної функції було запропоновано, розроблене й перевірено для задач виявлення різних типів радіолокаційних сигналів. Нові непараметричні алгоритми виявлення радіолокаційних сигналів були розроблені на основі запропонованої методики;

– перетворюючи сигнал в "частотну" область ми можемо використати методи цифрової частотної, фільтрації для обчислення відносини правдоподібності й виявлення радіолокаційного сигналу. Можливість використання алгоритму швидкого перетворення Фур'є забезпечує високу швидкість обробки; аналіз довів високу ефективність запропонованих алгоритмів виявлення. Новий підхід і розроблений алгоритм можуть використатися в різних типах радіолокаторів.

Практична цінність

Полягає в забезпеченні можливості побудови реально діючих систем оптимальної обробки радіолокаційних та радіонавігаційних сигналів із використанням електронної обчислювальної техніки. Проведений аналіз дозволяє сформулювати загальний висновок про те, що непараметричні і робастні алгоритми виявлення сигналів являють собою кращу альтернативу параметричним і можуть бути рекомендовані для практичного використання в системах обробки радіолокаційної і радіонавігаційної інформації. Запропоновані вискоефективні методи та алгоритми первинної обробки радіолокаційних та радіонавігаційних сигналів можуть бути використані на етапі розробки та виробництва апаратури на підприємствах Мінпромполітики України.

Перелік основних наукових публікацій, доповідей на конференціях, семінарах

1. Белецкий А.Я. Комбинаторика кодов Грея (наукове видання).–К.: Видавництво "КВІЦ", 2003. – 506 с.;
2. Бабак В.П., Білецький А.Я. Детерміновані сигнали і спектри.–К.: Техніка, 2003.–455 с.;
3. Бабак В.П., Белецкий А.Я., Приставка А.Ф., Приставка Ф.А. Стохастические сигналы и спектры. – К.: Видав. комп. КИТ, 2004. – 290 с.;
4. Бабак В.П., Белецкий А.Я., Гуржий А.Н. Сигналы и спектры / Учебное пособие с гри-

фом МОНУ. – К.: Кн. изд-во НАУ, 2005. – 520 с.

5. Белецкий А.Я., Белецкий Е.А. Синтез симметрических систем дискретных треугольных функций. – Актуальні проблеми автом. та інформ. технологій.–Д.: ДНУ, 2003, т.3.–7с.

6. Белецкий А.Я., Белецкий Е.А. Синтез симметричных систем дискретных степеневых функций. – К.: Вісник НАУ, 2003, № 1. – 6 с.

7. Белецкий А.Я. Синтез цифровых фильтров Грея. – Журнал “Радиоэлектроника”, НТУ “КПИ”, 2003, том 46, № 6.

8. Белецкий А.Я. Структурированные коды Грея // Успехи современной радиоэлектроники, № 11, 2003. – С. 3–27.

9. Белецкий А.Я. Коды Грея в смешанных системах счисления / Електроніка та системи управління, № 1, 2004.

10. Белецкий А.Я., Егоршин Ю.А. Спектры конечнодифференцируемых сигналов / Електроніка та системи управління, № 1, 2004.

11. Белецкий А.Я., Белецкий А.А., Нгуен В.Х. Синтез симметрических систем Уолша высоких порядков // Кибернетика и вычислительная техника. – Вып. 145, 2004.

12. Бойко І.Ф. Синтез систем ортогональных стохастических последовательностей / Матеріали VI МНТК “АВІА-2004”, Т.1. – К.: НАУ, 2004.

13. Бойко І.Ф. Застосування методу стохастических інтегральних зображень для опису відбиття радіолокаційних сигналів від розподілених об’єктів / Вісник НАУ, № 1 (19), 2004.

14. Бойко І.Ф. Розпізнавання лінійних випадкових сигналів за спектром / Електроніка та системи управління, № 1, 2004.

15. Шутко В.М. Швидкі алгоритми і пристрої частотно-часового розкладу сигналів з допомогою сплайнів і методу найменших квадратів / Матеріали VI МНТК “АВІА-2004”, Т.1. – К.: НАУ, 2004.

16. Сініцин Р.Б. Шумовой акустический локатор / Матеріали VI МНТК “АВІА-2004”, Т.1. – К.: НАУ, 2004.

17. Sinitsyn R.B. Signal Detection Algorithm for Noise Radar. – in Proceedings of the I European Radar Conference, European Microwave Week 2004, Amsterdam, Netherlands, October 2004, pp. 257–260.

18. Белецкий А.Я. Структурные формы деревьев разбиений m -ичных кодов Грея. – Наукове видання “Електроніка та системи управління”. – К. НАУ, № 1, 2005. – С.5–15.

19. Белецкий А.Я., Белецкий Е.А., Нгуен Вьет Хунг. Уолша датчик равномерно распределенных чисел.–Наукове видання “Електроніка та системи управління”.–К. НАУ, № 1, 2005.–С.16–22.

20. Белецкий А.Я. Структурные формы деревьев разбиений двоичных кодов Грея. – Наукове видання “Електроніка та системи управління”. – К.: НАУ, № 2(4), 2005. – С. 5–16.

21. Белецкий А.Я., Белецкий А.А. Анализ эффективности симметричной СЗПЗС криптографического алгоритма защиты данных. – Наукове видання “Електроніка та системи управління”. – К.: НАУ, № 2(4), 2005. – С. 17–24.

22. Бойко І.Ф., Івженко О.В., Михно М.М. Кореляційний аналіз інерційної нелінійної системи квадратичного типу. – Наукове видання “Електроніка та системи управління”. – К.: НАУ, № 2(4), 2005. – С. 118–124.

23. Сініцин Р.Б. “Применение ядерных оценок характеристической функции распределения для обнаружения локационных сигналов”. – Праці МНТК «Европейская микроволновая неделя – 2005». – Париж (Франція), 2005.

24. Сініцин Р.Б. “Обнаружение радиолокационных отражений от града с помощью параметрических и непараметрических алгоритмов”. – Праці МНТК «Европейская микроволновая неделя – 2005». – Париж (Франція), 2005.

25. Сініцин Р.Б. “Непараметрические оценки плотности распределения вероятности для обработки радиолокационных сигналов”. – Праці МНТК “MRRS-2005”. – Київ, НАУ, 2005.