

УДК 621.396.96

¹Ю.А. Авер'янова, к.т.н., доц.
А.А. Аверьянов, к.т.н., доц.
²Ф.Й. Яновський, д.т.н., проф.

ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ ВІДБИТИХ ВІД ГІДРОМЕТЕОРІВ РАДІОХВИЛЬ АМПЛІТУДНИМ МЕТОДОМ

Національний авіаційний університет

¹E-mail: Yuliya_ans@yahoo.co.uk

²E-mail: yanovsky@i.com.ua; felix.yanovsky@ieee.org

Розглянуто новий підхід до оцінювання інтенсивності турбулентності, який дозволяє оцінити деполаризацію відбитої електромагнітної хвилі за характером зміни низькочастотної обвідної радіосигналу, відбитого від гідрометеорів, що зазнають впливу динамічних атмосферних процесів.

гідрометеори, метеорологічний радіолокатор, поляриметрия, турбулентність

Постановка проблеми

Сучасні служби прогнозування та виявлення небезпечних для авіації погодних явищ значно покращили якість та точність прогнозів за останні десятиріччя. Цей період характеризується використанням даних, одержаних за допомогою організованої мережі метеорологічних радіолокаційних станцій.

В Україні та багатьох інших державах це переважно звичайні метеорологічні радіолокатори, які дозволяють одержати інформацію за рівнем потужності відбитого від метеорологічних утворень радіолокаційного сигналу. Сполучені Штати Америки та деякі інші держави використовують мережу доплерівських радіолокаторів (такі як WSR-88D).

Порівняно зі звичайними метеорологічними радіолокаторами доплерівські когерентні системи дозволяють одержати інформацію і про динамічні процеси в атмосфері.

Сучасні радіолокаційні системи, навіть доплерівські, не можуть визначати повну швидкість явищ, що пов'язані з вітром, чи спостерігати небезпечні динамічні явища поблизу земної поверхні [1]. Таке обмеження є досить суттєвим для авіації, де особлива увага приділяється найбільш небезпечним етапам польоту – зльоту та посадці повітряних суден. У цій роботі зазначається високий рівень хибних попереджень про небезпечні явища, спричинених вітром.

Існує потреба дослідження додаткових можливостей радіолокаційних методів та їх технічної реалізації для підвищення інформативності вимірюваних параметрів для ефективнішої локалізації небезпечних атмосферних явищ.

Аналіз досліджень і публікацій

У роботах [2–5] розглянуто можливість використання комбінованого доплерівсько-поляриметричного підходу для одержання інформації про атмосферні явища та формування. Поляризаційні компоненти враховуються для поліпшення якості ідентифікації типу гідрометеорів і точності оцінки інтенсивності опадів.

Гідрометеори під дією атмосферних явищ, пов'язаних з вітром, можуть змінювати свою форму та просторову орієнтацію [6]. Отже, характер та величина зміни кута поляризації відбитого від метеорологічного об'єкта сигналу можуть розглядатися як інформативні параметри, що відображають ступінь дії вітрових явищ на гідрометеори.

Мета роботи – дослідити підхід, який дає можливість оцінити ступінь деполаризації відбитих від сукупності гідрометеорів радіохвиль за допомогою одноканальної однопозиційної радіолокаційної системи, а також проаналізувати зв'язок деполаризації з інтенсивністю турбулентності.

Принцип оцінювання енергії відбитого деполаризованого сигналу за допомогою однієї антени

Розглянемо можливість використання просторово-часового опису прийнятих сигналів для визначення деполаризації відбитих від гідрометеорів електромагнітних хвиль. Ступінь деполаризації відбитої радіохвилі – інформативний параметр – змінюється відповідно до напрямного косинуса.

Напрямний косинус описує сигнал у координатах сфери Пуанкаре (рис. 1).

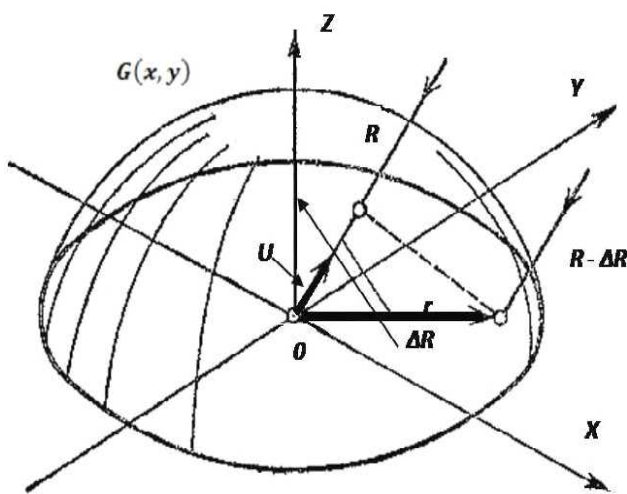


Рис.1. Різниця ходу променів у випадку, коли хвиля падає на апертуру антени в у координатах:

r – нормаль-вектор фронту падаючої хвилі в точці апертури;
 R – вектор поляризації, що збігається з поляризацією антени;
 ΔR – відхилення вектора R від основної поляризації;
 U – повний сигнал у площині основної поляризації

Комплексна обвідна напруженості поля в точках x, y антени в час t визначається як:

$$S_E(x, y, t) = \sqrt{1 - u_x^2 - u_y^2} G(x, y) S_E \left[t - \frac{R(x, y, t)}{c} \right] \times \exp[-j2\pi f_0 R(x, y, t)/c],$$

де $S_E \left[t - \frac{R(x, y, t)}{c} \right] \times \exp[-j2\pi f_0 R(x, y, t)/c]$ – хвиля, що падає на довільну точку x, y апертури антени в довільний момент t ;

$R(x, y, t)$ – компоненти проекції вектора на площину основної поляризації.

Ці компоненти характеризують напруженість електромагнітного поля в точці апертури антени.

Сигнал в приймальній антені S_E змінюється за законом направляючого косинуса. Значення $\sqrt{1 - u_x^2 - u_y^2} G(x, y)$ описує флуктуації амплітуди за наявності зміни кута поляризації відбитої від гідрометеорів електромагнітної хвилі. Флуктуації струму в приймальній антені за наявності деполаризації відбитої хвилі показано на рис. 2.

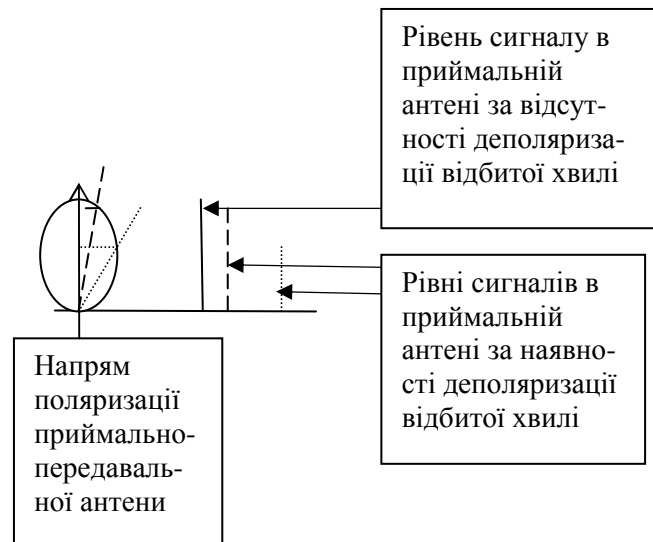


Рис. 2. Діаграма часових флуктуацій струму в приймальній антені

Зміна кута деполаризації відбитої електромагнітної хвилі зумовлює появу флуктуацій струму в приймальній антені.

Флуктуації виникають унаслідок того, що максимальне значення струму в приймальній антені відповідає прийманню відбитої хвилі з поляризацією, яка збігається з поляризацією зондувального променя. У випадку деполаризації відбитої від метеорологічної цілі хвилі струм у приймальній антені визначається його проекцією на головну вісь діаграми напрямленості.

Частотні характеристики флуктуацій амплітуди, викликані динамічними процесами в атмосфері, різняться від флуктуацій, що є наслідком інших процесів, які впливають на амплітуду сигналів. Цей факт зумовлено особливостями фізики атмосферних явищ. Для оцінювання флуктуацій амплітуди струму можна використовувати добре розвинену теорію оптимального приймання радіолокаційних сигналів.

Моделювання запропонованого підходу до оцінювання динамічних явищ в атмосфері можна продемонструвати за допомогою діаграми (рис. 3).

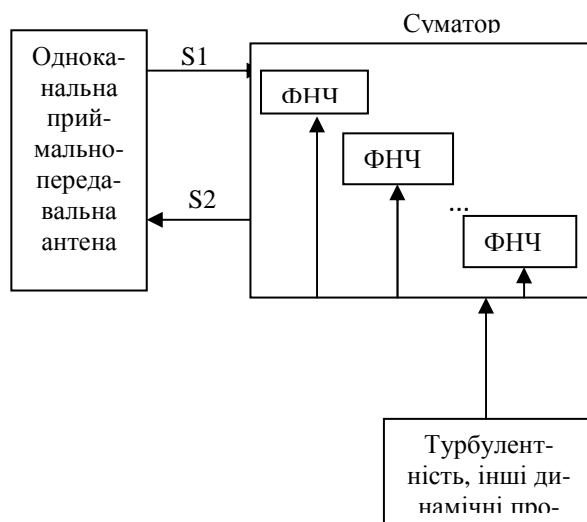


Рис. 3. Процес модуляції зондувальної електромагнітної хвилі частотним спектром турбулентності: ФНЧ – фільтр низької частоти

Як зондувальний сигнал S_1 припускаємо високочастотний сигнал. Турбулентність моделюється, як квазігармонічний сигнал з частотами, що відповідають частотам турбулентності [7].

Турбулентність впливає на ансамбль гідрометеорів, який являє собою набір фільтрів з різними сталими часу, які відповідають сталим краплям [6].

Стала краплі τ залежить від діаметра та розміру рідких гідрометеорів та характеризує перехідний процес руху [8].

Просторова орієнтація гідрометеорів змінюється під дією динамічних атмосферних явищ. Як наслідок, змінюється поляризація зондувального променя, що відбивається від ансамблю гідрометеорів. Інформація про характер зміни від усього об'єму розміщується в сигналі на виході суматора. Цей сигнал модулює зондувальний сигнал S_1 відповідно до змін, що сталися внаслідок дії динамічних процесів в атмосфері. Отже, на вході антени маємо відбитий високочастотний сигнал із низькочастотною модуляцією S_2 . Саме зміни амплітуди низькочастотної складової містять інформацію про турбулентність та інші динамічні явища. Це зумовлено частотними характеристиками відбивачів радіосигналів під дією вітрових явищ.

Обговорення результатів моделювання

Результати моделювання процесу згідно з запропонованим підходом показано на рис. 4. Уздовж осі y відкладено рівень обвідної промодульованого радіолокаційного сигналу S_2 , а вздовж осі x – час t .

З порівняння рис. 4, *а*, *б*, *в* випливає, що зміна інтенсивності атмосферної турбулентності в метеорологічному утворенні спричиняє зростання рівня обвідної та збільшення глибини модуляції. Такий характер змін обвідної зберігається з подальшим збільшенням інтенсивності атмосферної турбулентності.

За наявності сильних вітрових поштовхів (порівняння рис. 4, *в*, *г*) спостерігається не тільки збільшення рівня обвідної, а й виникає додаткове спотворення обвідної.

Зі збільшенням кількості сильних вітрових поштовхів збільшується глибина модуляції саме таких викривлень, як це видно з рис. 4, *г*, *д*.

З порівняння рис. 4, *д*, *е*, *є* видно, що з подальшим збільшенням інтенсивності характер змін обвідної зберігається, тобто зростає її рівень, збільшуються глибина модуляції та кількість спотворень.

Змодельований характер зміни обвідної за наявності дуже сильної турбулентності з великою кількістю вітрових поштовхів рис. 4, *ж*. Велика кількість коротких викидів обвідної модульованого сигналу є результатом суперпозиції перехідних процесів з різними сталими краплі τ , що є наслідком наявності в метеорологічному утворенні крапель різного розміру.

Висновки

Запропонований підхід дозволяє оцінити деполаризацію відбитої електромагнітної хвилі за характером зміни низькочастотної обвідної радіосигналу відбитого від гідрометеорів, які зазнають впливу динамічних атмосферних процесів.

У результаті такого підходу оцінюється зменшення енергії в приймально-передавальній антені з визначеними поляризаційними властивостями. Це є еквівалентом збільшення енергії перехресної складової в ортогональній приймальній антені поляриметричного радіолокатора.

На відміну від існуючих поляриметричних радіолокаторів для оцінювання деполаризації відбитої електромагнітної хвилі немає потреби використовувати дві ортогональні антени, а оцінювання проходить за більш високого рівня сигнал/шум, оскільки оцінюється сигнал в антені з основною поляризацією. Такий факт важливий у випадку невеликих кутів деполаризації, що відбувається саме у випадку атмосферних явищ.

Розглянутий підхід можна реалізувати на базі сучасних доплерівських когерентних систем, а також звичайних некогерентних метеорологічних радіолокаторів. Це дозволить значно розширити можливості доплерівських радіолокаторів щодо можливості визначення характеристик вітрових атмосферних явищ.

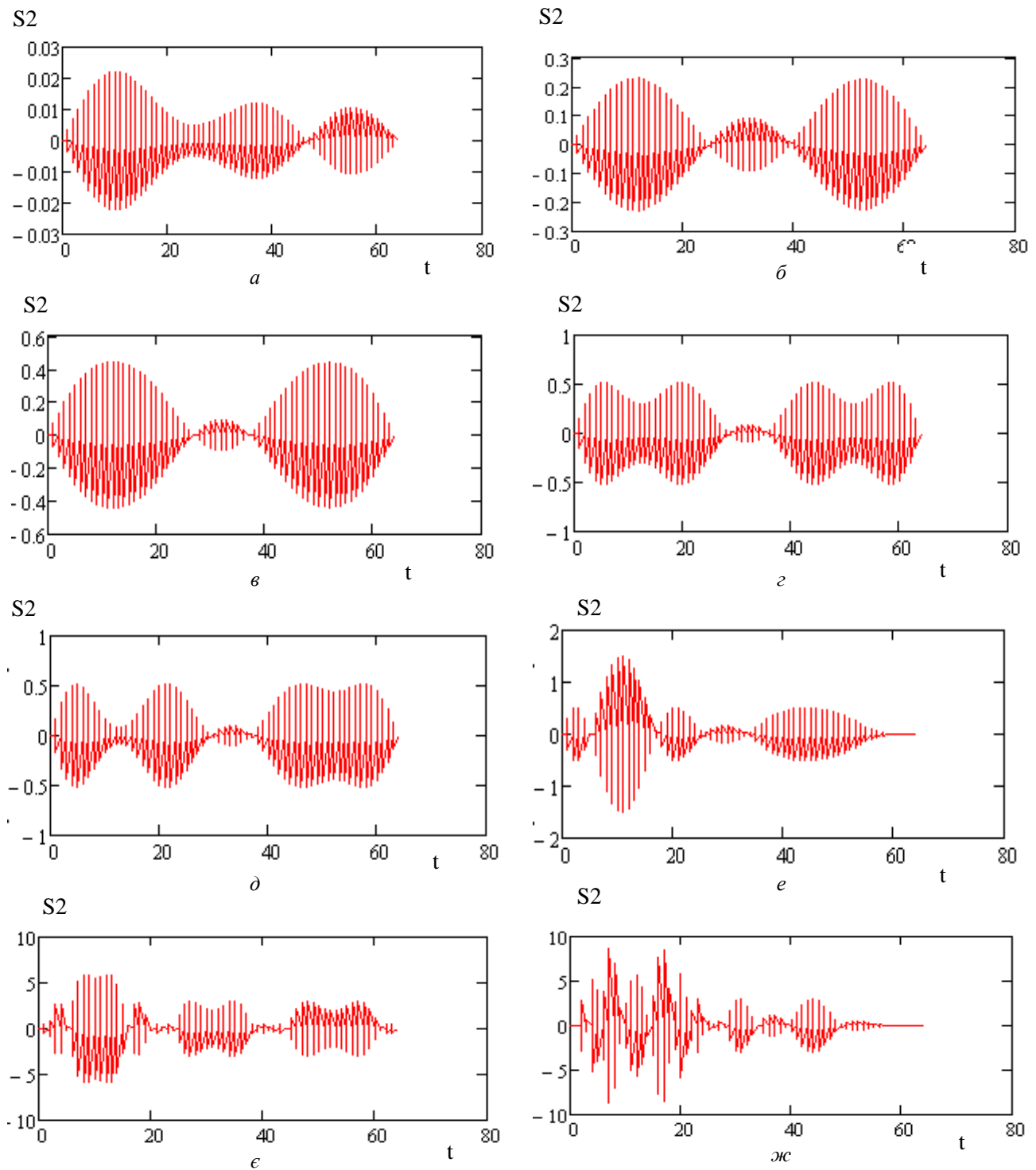


Рис. 4. Характер зміни обвідної:

a – за відсутності турбулентності;

б – за наявності слабкої турбулентності;

в – за наявності помірної турбулентності;

г – за наявності помірної турбулентності та наявності декількох сильних поштовхів;

д – за наявності сильної турбулентності;

е – за наявності дуже сильної турбулентності;

є – за наявності дуже сильної турбулентності та дуже сильних поштовхів;

ж – за наявності дуже сильної турбулентності з великою кількістю дуже сильних поштовхів

Література

1. *Mc Laughlin D.J.* Chandrasekar Distributed Weather Radar Using X-Band Active Arrays / D.J. Mc Laughlin, E.A. Knapp, Y. Wang // IEEE Aerospace and Electronic SYSTEMS Magazine. – July 2009, ISSN 0885-8985. – Vol. 24, No.7. – P. 21–26.
2. *Russchenberg H.W.J.* Ground-based remote sensing of precipitation using a multi-polarized FM-CW Doppler radar / H.W.J. Russchenberg. – Delft University Press, 1992. – P. 206.
3. *Analysis of Transportable Atmospheric Radar (TARA) possibilities for the remote sensing of dangerous meteorological phenomena / Yanovsky F.J., L.P. Lighthart, H.W.J. Russchenberg // PIERS Proceedings, Cambridge, Massachusetts, USA, 1997. – P.116.*
4. *Yanovsky F.* Studies on microstructure of clouds and precipitation / F. Yanovsky // Report IRCTR-S-009-97, Delft University of Technology, September, 1997. – P.91.
5. *Yanovsky F.J.* Doppler-Polarimetric Radar Observations of Turbulence in Rain/ F.J. Yanovsky, C.M.H. Unal, W.J. Russchenberg // Report: IRCTR-S-006-03 (September 2002 – March 2003), TU-Delft. The Netherlands, 2003, 102.
6. *Averyanova Yu. A.* Use of Doppler-Polarimetric parameters for wind phenomena localization / Yu. A. Averyanova // EuRAD 2004: Proc. of the 34th European microwave Conference, 11–15 October 2004, Amsterdam. The Netherlands. – P. 20–32.
7. *Frost W.* Handbook of Turbulence. Fundamentals and Applications / W. Frost, T. H. Moulden, Plenum Press, 1977. – P. 535
8. *Аверьянова Ю.А.* Возможности використання поляриметричних радіолокаційних параметрів для визначення характеристик вітру / Ю.А. Авер'янова, А.А. Аверьянов, Ф.Й. Яновський // Вісник НАУ. – 2005. – № 4. – С. 34–39.

Стаття надійшла до редакції 24.12.09.

Ю. А. Аверьянова, А.А. Аверьянов, Ф.И. Яновский

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ОТРАЖЕННЫХ ОТ ГИДРОМЕТЕОРОВ РАДИОВОЛН АМПЛИТУДНЫМ МЕТОДОМ

Национальный авиационный университет

гидрометеоры, метеорологический радиолокатор, поляриметрия, турбулентность

В настоящее время большинство поляриметрических радиолокаторов использует две антенны, настроенные на прием и передачу ортогонально поляризованных электромагнитных волн для оценки степени деполаризации отраженных от объекта сигналов. Рассматриваемый подход позволяет оценить деполаризацию отраженной от ансамбля гидрометеоров электромагнитной волны с помощью одной одноканальной антенны с фиксированной поляризацией. Изменение угла деполаризации приводит к появлению флуктуаций амплитуды тока в антенне. Максимальное значение амплитуды тока в антенне соответствует приему отраженной от метеоцели волны с поляризацией, которая совпадает с поляризацией зондирующей волны. При приеме волны с измененной поляризацией ток в приёмной антенне определяется, как проекция на главную ось диаграммы направленности луча. Частотные характеристики флуктуаций тока в антенне, вызванные динамическими процессами в атмосфере, отличаются от частотных характеристик флуктуаций, вызванных другими процессами, влияющими на амплитуду сигнала. Степень деполаризации отраженного от ансамбля гидрометеоров радиосигнала оценивается по характеру изменения его низкочастотной огибающей. Оценка деполаризации производится в антенне основной поляризации, следовательно, с большим отношением сигнал/шум по сравнению с использованием двух антенн – основной и ортогональной поляризации. Это важно для небольших углов деполаризации при отражении от ансамбля жидких гидрометеоров.

Yuliya A. Averyanova, Anatoliy A. Averyanov, Feliks Yi. Yanovsky

ESTIMATE DEPOLARIZATION LEVEL OF REFLECTED FROM HYDROMETEORS RADIOWAVES WITH AMPLITUDE METHOD

National Aviation University

hydrometeor, polarimetry, turbulence, weather radar

In this paper the approach to estimate reflected from hydrometeors signal depolarization due to turbulence with a single unipolarized antenna is considered. The reflected radio wave depolarization is considered as informative parameter. It is shown that change of depolarization angle leads to the current amplitude fluctuations in the receiving antenna. It appears because the maximum value of receiving antenna current corresponds to the reception of the reflected from weather target wave with polarization that coincides with sounding wave polarization. In case of depolarization of reflected from weather target wave the receiving antenna current is defined as the projection on its beamwidth main axis. Taking into account the physics of atmospheric phenomena, the frequency characteristics of amplitude fluctuations due to dynamic processes differentiate from frequency characteristics of fluctuations that appear as a result of other processes influencing the signal amplitude. The estimate is made by the behavior of low-frequency envelope of radiosignal reflected from the hydrometeors ensemble under the influence of atmospheric dynamic processes. The association analysis of turbulence intensity and low-frequency envelope change is made. The turbulence intensity estimate is made in the antenna of main polarization consequently at higher SNR level. This is important in case of small depolarization angles like in the most atmospheric phenomena.