

الأرصاء الجوية باستخدام ال (GNSS)

كيف يتم تقدير كمية بخار الماء في الغلاف الجوي باستخدام محطات أرضية

مستقبلية لإشارات أنظمة الملاحة العالمية GNSS



فدوى الشواف، لمشروع TRYAT

تعد مراقبة طبقات الغلاف الجوي السفلية أحد التطبيقات العديدة لأنظمة GNSS. تُعرف هذه الطريقة باسم الأرصاد الجوية المدعمة أرضياً باستخدام أنظمة الملاحة العالمية، وهو موضوع هذا الفيديو. يمكن تصور الغلاف الجوي كبطانية ملفوفة حول جسم الأرض. هو طبقة من الغازات والجسيمات تمتد من سطح الأرض إلى ارتفاعات حوالي 1000 كيلومتر. يحافظ الغلاف الجوي على درجة حرارة مناسبة للحياة على كوكب الأرض، ويمنع الأشعة والإشعاعات الضارة من الوصول إلى الأرض، ويحفظ الماء. يمكن تقسيم الغلاف الجوي إلى طبقات مختلفة: التروبوسفير والستراتوسفير والميزوسفير والغلاف الحراري والغلاف الخارجي. في الجيوديسيا، نعتمد تقسيماً آخر، كما سترى بعد قليل.

يتكون الغلاف الجوي من 78٪ نيتروجين و 21٪ أكسجين. يحتوي الجزء المتبقي 1٪ على الماء وثنائي أكسيد الكربون وغازات الأخرى. سنركز في هذا الفيديو على الماء، وخاصة بخار الماء. يتواجد الماء في الغلاف الجوي على ثلاث صور: الغاز والسائل والجليد. يعتبر الماء المتغير الأكثر إثارة للاهتمام والتحدي من أجل التفاعلات والأنماط المعقدة لأنظمة الطقس والمناخ. يتبخر الماء، ويرتفع في الغلاف الجوي، ويبرد ويتكثف في الغيوم، ويسقط مع هطول الأمطار. تسمى هذه العملية الطبيعية التي توفر المياه العذبة من مياه المحيط المالحة بالدورة الهيدرولوجية. تعتبر دورة الماء من وإلى الغلاف الجوي أمراً ضرورياً لتشكيل الطقس.

أيضاً، يرتبط تبخر الماء بامتصاص الحرارة وتكثف بخار الماء بإعادة إطلاقها. لذلك، يلعب بخار الماء دوراً هاماً في الحفاظ على مناخ كوكب الأرض مناسباً للعيش.

هل تعلم أن بخار الماء موجود أيضاً تحت سماء صافية؟ أتريد إثبات ذلك؟ أخرج زجاجة من الثلاجة واركها لفترة من الوقت. ستلاحظ أن البخار بدأ في التكثف عليها. بخار الماء التجمعي (PWV) هو كمية الماء التي تنتج عن تكثيف عمود من الهواء الرطب، مقطعه العرضي متر مربع ويمتد من سطح الأرض إلى الجزء العلوي من طبقة التروبوسفير. يقاس بوحدة المليمتر أو الكيلوجرامات لكل متر مربع. لأنه ضروري لتحديد الطقس والمناخ، يتم قياس PWV بانتظام.

يتم ذلك باستخدام أدوات الأرصاد الجوية مثل المسابير اللاسلكية، لكنها باهظة الثمن ولا تتمتع البيانات بدقة زمنية ومكانية كافية. أيضاً، ليس من السهل دائماً جمع القياسات في الموقع المرغوب. فكر في المناطق القطبية، على سبيل المثال. لذلك، يُرحب بأي تقنيات أخرى. الأرصاد الجوية باستخدام تقنية ال GNSS هي بديل جذاب! حسناً، دعنا نرى ما هي هذه التقنية.

في طريقها من القمر الصناعي إلى الأرض، تخترق الإشارة الكهرومغناطيسية الغلاف الجوي للأرض. بالنسبة للأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) التي تطير بسرعة 20000 كيلومتراً، فإن وقت انتشار الإشارة التي تسير في مسار مستقيم هو 67 ملي ثانية. لكن بسبب مصادر الخطأ المختلفة، فإن وقت انتشار الإشارة الفعلي أطول بكثير. أحد هذه الأخطاء هو التأخير بسبب الانتشار في الغلاف الجوي.

في تطبيقات الجيوديسيا، نقسم الغلاف الجوي إلى طبقتين: الأيونوسفير، وهي الطبقة المتأينة التي تمتد بين ارتفاعات 60 إلى 1000 كيلومتر.

والأخرى هي الطبقة المحايدة كهربائياً، النيوتروسفير، والتي تمتد من سطح الأرض إلى ارتفاع 60 كيلومتراً. طبقة التروبوسفير هي الطبقة الدنيا من طبقة النيوتروسفير بسمك حوالي 20 كيلومتر عند خط الاستواء. هذه هي الطبقة التي نتواجد فيها معظم الرطوبة، لذلك محط تركيزنا.

تنكسر الإشارة الكهرومغناطيسية عندما تدخل طبقة التروبوسفير. على عكس الفراغ، فإن طبقة التروبوسفير هي وسيط مادي له معامل انكسار أكبر من 1. لذا، بدلاً من المسار المستقيم، تنتقل الإشارة في مسار منحني. ذلك يشبه تماماً انكسار الضوء في الزجاج أو الماء. يزيد هذا "الانحناء" مقدار الوقت الذي تستغرقه الإشارة للوصول إلى جهاز الاستقبال.

إذا كانت إشارة GPS قد انطلقت عمودياً إلى الأسفل، سوف يضيف التروبوسفير حوالي 8.2 نانو ثانية تأخير للقياسات. لتحديد المواقع بدقة عالية، يجب تصحيح هذا الخطأ. أيضاً يمكن استخدام ذلك الخطأ لتوفير معلومات مفيدة حول التروبوسفير.

في وجود قياسات من أكثر من أربعة أقمار صناعية مرئية للمستقبل وباستخدام تقنية تسمى تحديد المواقع بدقة، PPP، يمكننا تقدير إحداثيات المستقبل X، Y، Z والوقت، والتأخير المستحدث بسبب التروبوسفير والمعروف باسم التأخير الكلي العمودي (ZTD).

ZTD هو التأخير التروبوسفيري الذي قد تواجهه الإشارة إذا كان القمر الصناعي يرسل إشارته عمودياً إلى الأسفل. يسمى التأخير التروبوسفيري على طول الخط من المستقبل للساتل بالتأخير الكلي المائل. ذلك التأخير أكبر في القيمة لأن مسار الانتشار أطول.

الآن، نحن نعرف هذه الكمية، ZTD.

يعتمد ZTD على درجة حرارة الهواء والضغط الجوي وضغط بخار الماء. لذلك، يمكننا استخلاص معلومات حول كمية بخار الماء التجمعي (PWV) من ZTD.

ZTD هو مجموع التأخير الهيدروستاتيكي (ZHD) الناتج بشكل رئيسي عن الغازات الجافة مثل الأكسجين والنيروجين، وهو حوالي 90٪ من ZTD. بينما تمثل نسبة الـ 10٪ المتبقية التأخير الرطب (ZWD) الناتج عن بخار الماء.

هذه هي الكمية التي نبحث عنها $ZWD = ZTD - ZHD$ ، ZTD كمية معروفة.

بتوفر قياس ضغط الهواء، يمكن حساب ZHD من هذه الصيغة: $ZHD \approx 0.002277 * p$

ثم يتم الحصول على ZWD، وبالتالي يمكن تحويلها إلى PWV،

$$PWV = pi * ZWD$$

pi هو ثابت تجريبي يعتمد على موقع المستقبل والظروف الجوية. لتبسيط المسألة، يمكن التعويض عن pi بقيمة 0.15، وهي قاعدة تقريبية. ذلك يعني أن 6.5 ملم من ZWD يعادل 1 ملم من PWV.

هذه سلسلة زمنية من PWV المقدر باستخدام قياسات GNSS. تظهر في السلسلة التغيرات الزمنية السريعة كما نرى ارتباطاً موسمياً. عندما يكون الطقس أكثر دفئاً، يزداد التبخر وبالتالي ترتفع كمية بخار الماء في الهواء. عندما يكون الجو بارداً، ينخفض ال PWV.

هذا كل شيء لدرس اليوم. آمل أن تكون قد تعلمت شيئاً أو اثنين عن الأرصاد الجوية باستخدام تقنية ال GNSS.

شكراً لمشاهدتك!