

УДК 550.34

Использование оптических датчиков угловой скорости для измерения вращательного движения в сейсмологии

© 2012 г. А.А. Великосельцев, А.М. Боронахин, А.Н. Ткаченко

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия*

В результате развития высокоточных оптических средств измерения угловой скорости – лазерных гироскопов с большим периметром, стала возможной регистрация вращательного движения, вызванного землетрясениями. Оптические датчики угловой скорости обладают рядом ключевых преимуществ перед другими типами гироскопов, что позволяет с успехом использовать их как в сейсмологии, так и в геодезии. Возникла потребность в создании мобильной измерительной системы углового сейсмического движения, позволяющей проводить его оперативную регистрацию в зонах повышенной сейсмоактивности. Также существует необходимость проведения коррекции показаний сейсмометров, выходной сигнал которых существенно искажается в условиях комплексного сейсмического воздействия при небольшой удаленности от эпицентра. Приводятся результаты испытаний измерительных систем на основе волоконно-оптических гироскопов, предназначенных для решения задач сейсмологии. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о перспективности применения таких систем в сейсмических измерениях.

Ключевые слова: вращательное движение, угловые колебания, сейсмометры, оптические датчики угловой скорости, гироскопы.

PACS: 93.85.Bc, 93.85.Rt

Литература

- Боронахин А.М., Великосельцев А.А., Янковский А.А., Пухов Д.Б., Ткаченко А.Н. Волоконно-оптические датчики вращения для сейсмических измерений // Оптический журнал. 2010. Т. 77, № 7. С.54–59.
- Великосельцев А., Шрайбер У., Клюгель Т., Войт С., Грэм Р. Интерферометрия Саньяка для определения вращения Земли в геодезии и сейсмологии // Гироскопия и навигация. 2008. № 3. С.37–45.
- Грайзер В.М. “Истинное” движение почвы в эпицентральной зоне / ИФЗ им. О.Ю. Шмидта АН СССР. М., 1984. 192 с.
- Belfi J., Beverini N., Carelli G., Di Virgilio A., Maccioni E., Saccorotti G., Stefani F., Velikoseltsev A. Horizontal rotation signals detected by “G-Pisa” ring laser for the $M_w=9.0$, March 2011, Japan earthquake // J. Seismol. 2012. DOI 10.1007/s10950-012-9276-9.
- Bouchon M., Aki K. Strain, tilt, and rotation associated with strong ground motion in the vicinity of earthquake faults // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1982. V. 72. P.1717–1738.
- Cochard A., Igel H., Schuberth B., Suryanto W., Velikoseltsev A., Schreiber U., Wassermann J., Scherbaum F., Vollmer D. Rotational motions in seismology: theory, observation, simulation // Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotational Effects / Eds. R. Teisseyre et al. Springer Verlag, 2006. P.391–411.
- Cowsik R., Madziwa-Nussinov T., Wagoner K., Wiens D., Wyssession M. Performance characteristics of a rotational seismometer for near-field and engineering applications // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2009. V. 99. P.1181–1189.
- Ferreira A., Igel H. Rotational motions of seismic surface waves in a laterally heterogeneous earth // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2009. V. 99. P.1429–1436.

- Fichtner A., Igel H.* Sensitivity densities for rotational ground motion measurements // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1302–1314.
- Graizer V.M.* On inertial seismology // *Izvestiya. Earth Physics.* 1989. V. 25, N 1. P.26–29.
- Graizer V.M.* Inertial seismology methods // *Izvestiya. Earth Physics.* 1991. V. 27, N 1. P.51–61.
- Haskov J.* Instrumentation in earthquake seismology. Springer, 2010. 358 p.
- Igel H., Schreiber U., Flaws A., Schuberth B., Velikoseltsev A., Cochard A.* Rotational motions induced by the M8.1 Tokachi-oki earthquake, September 25, 2003 // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. P.L08309.1–L08309.5.
- Igel H., Cochard A., Wassermann J., Flaws A., Schreiber U., Velikoseltsev A., Pham N.* Broadband observations of earthquake-induced rotational ground motions // *Geophys. J. Int.* 2007. V. 168. P.182–196.
- Kozák J.T.* Tutorial on earthquake rotational effects: historical examples // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.998–1010.
- Lee W., Celebi M., Todorovska M., Igel H.* Introduction to the special issue on rotational seismology and engineering applications // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.945–957.
- McLeod D., Stedman G., Webb T., Schreiber U.* Comparison of standard and ring laser rotational seismograms // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1998. V. 88. P.1495–1503.
- Nigbor R.* Six-degrees-of-freedom ground-motion measurement // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1994. V. 84. P.1665–1669.
- Nigbor R., Evans J., Hutt C.* Laboratory and field testing of commercial rotational seismometers // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1215–1227.
- Pancha A., Webb T., Stedman G., McLeod D., Schreiber U.* Ring laser detection of rotations from teleseismic waves // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. P.3553–3556.
- Pham N., Igel H., Wassermann J., Cochard A., Schreiber U.* The effects of tilt on interferometric rotation sensors // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1352–1365.
- Pillet R., Virieux J.* The effects of seismic rotations on inertial sensors // *Geophys. J. Int.* 2007. V. 171. P.1314–1323.
- Richter C.F.* Elementary seismology. New York: W.H. Freeman & Company, 1958. 768 p.
- Schreiber U., Velikoseltsev A., Rothacher M., Klugel T., Stedman G., Wiltshire D.* Direct measurements of diurnal polar motion by ring laser gyroscopes // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. P.B06405.1–B06405.5.
- Schreiber U., Igel H., Cochard A., Velikoseltsev A., Flaws A., Schuberth B., Drewitz W., Muller F.* The GEOsensor project: rotations – a new observable for seismology // *Observation of the Earth System from Space* / Eds. J. Flury et al. Springer Verlag, 2006. P.427–443.
- Schreiber U., Hautmann J., Velikoseltsev A., Wassermann J., Igel H., Otero J., Vernon F., Wells J.-P.* Ring laser measurements of ground rotations for seismology // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1190–1198.
- Spudich P., Fletcher J.* Observation and prediction of dynamic ground strains, tilts, and torsions caused by the M6.0 2004 Parkfield, California, earthquake and aftershocks derived from UPSAR array observations // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2008. V. 98. P.1898–1914.
- Spudich P., Steck L., Hellweg M., Fletcher J., Baker L.* Transient stresses at Parkfield, California, produced by the M7.4 Landers earthquake of June 28, 1992: observations from the UPSAR dense seismograph array // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100. P.675–690.
- Stedman G.* Ring laser tests of fundamental physics and geophysics // *Reports Prog. Phys.* 1997. V. 60. P.615–688.
- Stedman G., Li Z., Bilger H.* Sideband analysis and seismic detection in large ring lasers // *Appl. Opt.* 1995. V. 34. P.7390–7396.
- Suryanto W., Wassermann J., Igel H., Cochard A., Schuberth B., Vollmer D., Scherbaum F., Schreiber U., Velikoseltsev A.* First Comparison of Array-Derived Rotational Ground Motions with Direct Ring Laser Measurements // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2006. V. 96. P.2059–2071.
- Takamori A., Araya A., Otake Y., Ishidoshiro K., Ando M.* Research and development status of a new rotational seismometer based on the flux pinning effect of a superconductor // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1174–1180.
- Takeo M.* Ground rotational motions recorded in near-source region // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25, N 6. P.789–792.

- Takeo M., Ito H.M.* What can be learned from rotational motions excited by earthquakes? // *Geophys. J. Int.* 1997. V. 129. P.319–329.
- Trifunac M.D.* Effects of torsional and rocking excitations on the response of structures // *Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotational Effects* / Eds. R. Teisseyre et al. Springer Verlag, 2006. P.569–582.
- Trifunac M.D.* The role of strong motion rotations in the response of structures near earthquake faults // *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2009. V. 29. P.382–393.
- Trifunac M.D., Todorovska M.I.* A note on the usable dynamic range of accelerographs recording translation // *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2001. V. 21. P.275–286.
- Velikoseltsev A., Schreiber U., Yankovsky A., Wells J.-P., Boronachin A., Tkachenko A.* On the application of fiber optic gyroscopes for detection of seismic rotations // *J. Seismol.* 2012. DOI 10.1007/s10950-012-9282-y.
- Wassermann J., Lehndorfer S., Igel H., Schreiber U.* Performance test of a commercial rotational motions sensor // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. V. 99. P.1449–1456.