

图7和图8中50~60s可以看出,当出现NLOS误差的时候,测量值的定位误差明显增大,UKF方法和PF方法一定程度抑制了误差,本文方法能够显著提高NLOS情况下的定位精度,使之与LOS情况下的定位误差变化与累计误差增长趋势相近。

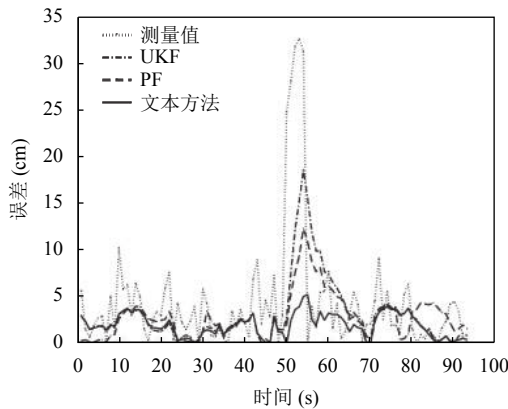


图7 定位误差

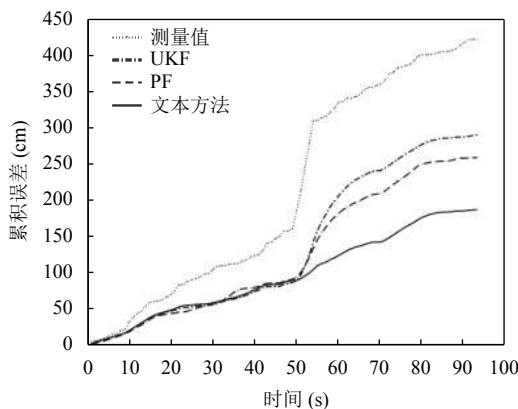


图8 定位累积误差

图9所示为不同方法的误差累积概率分布,进一步验证了在有遮挡的路径下,本文方法相比于其它方法具有更优的定位性能。

表1是NLOS误差量化表,从中可以看出在NLOS情况下,本文方法的最大误差值、平均误差值相较其他方法最低,NLOS降低率最高.此外用Matlab统计得,UKF、PF、本文方法的运算时间分别是0.0117 s, 0.6094 s, 0.0125 s.因此PF方法定位效果略优于UKF方法,但运算效率过低;环境自适应UKF通过消耗低成本运算效率换得显著优于UKF方法的定位效果,进一步表明在NLOS情况下,本文方法相比于其它方法具有更好的性能。

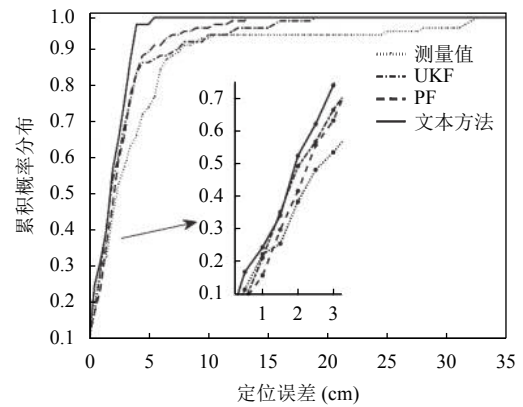


图9 定位误差累积概率分布

表1 NLOS误差量化表

	最大误差值 (cm)	平均误差值 (cm)	NLOS降低率 (%)
测量值	32.46	16.51	0
UKF	18.52	11.12	32.6
PF	14.18	9.76	40.9
本文方法	5.26	3.09	81.3

总之,实验数据和结果表明,本文方法在LOS情况下定位效果与UKF方法、PF方法相近;在NLOS情况下,由于环境适应系数的动态修正,比UKF方法和PF方法具有更高的定位性能。

5 结论

针对复杂室内环境下UWB信号传播的非视距NLOS误差问题,本文提出基于UKF的环境自适应UWB/DR室内定位方法.该方法从UWB定位环境的误差产生原因出发,通过建立环境自适应UKF滤波模型,在UWB/DR定位融合过程中对UWB定位信息进行非视距检测并且引入环境适应系数动态修正UWB定位观测噪声.实验效果表明,该方法具有较高的抗NLOS误差性能,定位精度优于PF方法和UKF方法,是一种具有较强实用性且高精度的室内定位方法。

参考文献

- 吕源, 李军. 室内环境下定位技术的研究. 电子测试, 2008, (4): 19-22. [doi: 10.3969/j.issn.1000-8519.2008.04.006]
- 李大川. 室内外协同定位导航关键技术研究[硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- 周牧, 耿小龙, 谢良波, 等. 室内Wi-Fi/PDR自适应鲁棒卡尔曼滤波融合定位方法. 电子学报, 2019, 47(1): 9-15. [doi: ...]

- 10.3969/j.issn.0372-2112.2019.01.002]
- 4 Kok M, Hol JD, Schön TB. Indoor positioning using ultrawideband and inertial measurements. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, 64(4): 1293–1303. [doi: [10.1109/TVT.2015.2396640](https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2396640)]
 - 5 Li SX, Li GY, Wang L, *et al.* A three-dimensional robust ridge estimation positioning method for UWB in a complex environment. *Advances in Space Research*, 2017, 60(12): 2763–2775. [doi: [10.1016/j.asr.2017.10.040](https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.10.040)]
 - 6 Luo YJ, Law CL. Indoor positioning using UWB-IR signals in the presence of dense multipath with path overlapping. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2012, 11(10): 3734–3743. [doi: [10.1109/TWC.2012.081612.120045](https://doi.org/10.1109/TWC.2012.081612.120045)]
 - 7 何贵斌. 超宽带导航技术及应用构想. *中国新通信*, 2012, (8): 43–48.
 - 8 张令文, 杨刚. 超宽带室内定位关键技术. *数据采集与处理*, 2013, 28(6): 706–713. [doi: [10.3969/j.issn.1004-9037.2013.06.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9037.2013.06.002)]
 - 9 Liu BB, Wu XJ, Reddy V, *et al.* A RTLS/DR based localization system architecture for indoor mobile robots. *Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*. Montreal, QB, Canada. 2010. 1–6.
 - 10 马勤勇. 两轮差速驱动移动机器人运动模型研究[硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2013.
 - 11 Julier SJ, Uhlmann JK, Durrant-Whyte HF. A new approach for filtering nonlinear systems. *Proceedings of 1995 American Control Conference-ACC'95*. Seattle, WA, USA. 1995. 1628–1632.
 - 12 王芳, 李楠, 刘汝佳, 等. 基于超宽带和航位推算的室内机器人 UKF 定位算法. *导航定位与授时*, 2017, 4(2): 26–30.
 - 13 郝晨, 李航. 扩展卡尔曼和无迹卡尔曼滤波应用对比研究. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 33(2): 279–283.
 - 14 战帅, 冯世民. 扩展卡尔曼滤波器和无迹卡尔曼滤波器的性能对比研究. *信息通信*, 2018, (5): 35–36. [doi: [10.3969/j.issn.1673-1131.2018.05.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1131.2018.05.016)]
 - 15 Mehra R. Approaches to adaptive filtering. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1972, 17(5): 693–698. [doi: [10.1109/TAC.1972.1100100](https://doi.org/10.1109/TAC.1972.1100100)]
 - 16 卞鸿巍, 金志华, 王俊璞, 等. 组合导航系统新息自适应卡尔曼滤波算法. *上海交通大学学报*, 2006, 40(6): 1000–1003, 1009. [doi: [10.3321/j.issn:1006-2467.2006.06.028](https://doi.org/10.3321/j.issn:1006-2467.2006.06.028)]