

UWB定位系统中一种新的无线同步和TDOA误差降低方法

Vitomir Djaja-Josko, 杰日·科拉科夫斯基

无线电电子与多媒体技术研究所

华沙理工大学

波兰华沙

v.djaja-josko@ire.pw.edu.pl, j.kolakowski@ire.pw.edu.pl

抽象的一时钟频率容差和不稳定性对UWB定位系统的定位精度和精度有很大影响。本文主要研究了依赖于参考包传输的同步和TDOA错误减少技术。该方法在UWB定位系统中实现。本文包含对方法、系统架构和执行测量结果的描述。

- 设备同步——在锚点之间完成，以保持相同的时基，
- 漂移补偿——温度和环境变化会导致设备的时钟漂移达一微秒。

有很多方法可以解决上述问题。最简单的是在所有设备之间提供电缆连接。它最常用于商业系统[4][5]。然而，有线基础设施的部署在建筑物或大面积区域可能存在问题。因此，非常希望提供一种无线解决方案。

索引词—定位系统、无线同步、UWB、TDOA 误差减少

二简介

UWB（超宽带）技术最近在各种无线系统中得到越来越多的认可。它受益于非常宽的传输信号频带（根据欧盟法规 [1] 至少为 50 MHz，根据 FCC 法规 [2] 至少为 500 MHz），这会导致短脉冲持续时间。它允许对接收信号进行精确的定时检测、高数据吞吐量，并使系统免受多路径问题的影响，因为脉冲可以很容易区分。

更重要的是，使用 UWB 技术的设备可以很小，并且具有功率和成本效益。所有这些都使得 UWB 技术成为定位系统的绝佳候选者，主要是由于严格的规定在室内。使用基于 WiFi 或蓝牙的最新系统无法实现高达几/十多厘米的定位精度。

大多数UWB定位系统都是通过时间测量来获得ToA（Time of Arrival）或TDOA（Time Difference of Arrival）等参数，用于位置计算。

典型的本地化系统架构包含一些标签和基础设施。基础设施包括分布在定位区域周围的锚点和一个控制中心。可以区分两种架构，单边的，其中标签是接收器和锚点发射器，而多边的，情况正好相反。为了使系统正常工作，所有基础设施的设备都必须同步，因为精确的时间对于位置计算至关重要。

当涉及到同步时，可以识别两个主要问题 [3]：

[3] 中介绍了在单边定位系统中实现无线同步的一种方法。引入了所谓的“区域监管者”。它定期发送数据包。它们记录接收时间的标签和锚点接收。独立地，锚点以恒定的延迟顺序发送自己的数据包，这些数据包被标签接收。所有与时间相关的数据都收集在系统控制器中，并在其中计算位置。在 EIGER 系统 [6] 中使用了类似的方法，主要区别在于 EIGER 标记自行计算其位置。

在多变系统中，放置在固定且已知位置的参考标签可用于同步。它会定期发送锚点接收到的数据包。由于参考标签和锚点之间的传播时间是恒定的，因此包到达锚点的时间是同步的。[7][8][9] 中描述了这种解决方案。

[10]中提出了有趣的方法。作者提出了结合 ToA 和 DoA（到达方向）测量的解决方案。不需要同步，因为系统基础设施由一个带有天线阵列的锚组成。

另一种方法是直接基于脉冲同步级别。有几种算法在较低的非系统级别上工作。[11]。

本文的结构如下。第二节描述了提出的架构和信号传输方案。第三部分显示了模拟结果。在第四节中进行了实验并给出了取得的结果。结论在第五节中讨论。

导致这些结果的研究已根据拨款协议 AAL5/3/2013（NITICS 项目）获得国家研究与发展中心资助。

二、小号系统架构

NITICS 项目中开发的定位系统架构如图 1 所示。锚节点测量标签和参考节点传输的数据包的到达时间。结果通过 WiFi 接口发送到系统控制器。控制器评估标签的位置。系统采用 TDOA 定位技术，因此需要锚点同步。参考节点分发用于时间同步和锚点测量误差减少的数据包。

无线同步和 WiFi 链接的实施简化了解决方案。锚点既不需要用于同步也不需要用于结果传输的有线链路。

图 1 中显示的每个设备，除了系统控制器，板上都有 DW1000 芯片[12]。它是 802.15.4a 标准兼容的 UWB 收发器。锚节点和标签配备了 DWM1000 模块，集成了 DW1000 芯片、晶振和天线。由于参考节点需要更好的时序，因此使用了结合 TCXO（温度补偿晶体振荡器）的 DW1000 芯片。

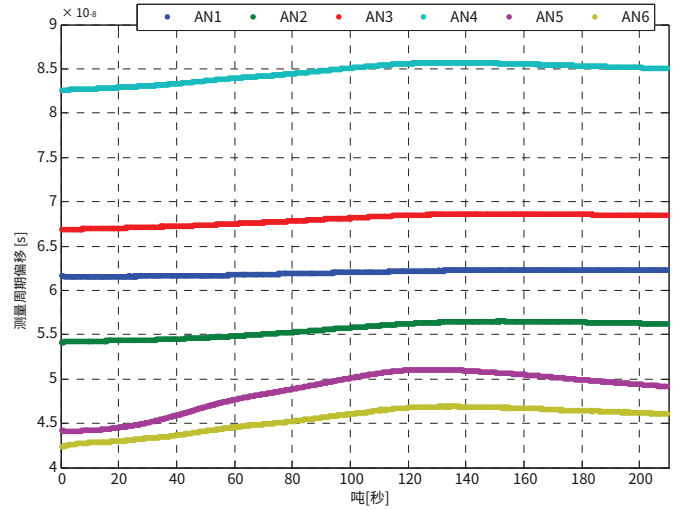


图 2. 定位系统中的传输

因此，需要一种减少错误的方法。系统中实现的方法依赖于系统节点之一以已知参考间隔传输一对数据包。其余节点测量数据包到达的时间和正确的测量结果。

系统中使用的传输方案如图 3 所示。传输由标签发起。标签的数据包到达参考节点和锚节点（图中只考虑了两个锚点）。接收到标签的数据包会触发参考节点中的计时器。在 TD1 延迟之后，节点发送数据包 (R1) 并在参考周期 Tref (R2) 之后重复传输。在传播延迟 t2 和 t3 之后来自参考节点的信号到达两个锚点。

所有器件中不同的时钟频率会导致偏移。尽管 DWM1000 模块提供了调整时钟频率的方法，但校正不够精确。冷却锚（室内 - 室外温差接近十度）导致测量的偏移量增加，具体取决于锚位置的位置。观察到的误差会严重限制定位系统的准确性。

锚点测量所有接收到的数据包的到达时间，因此它们能够计算 tm2、tm3、Tref2 和 Tref3 周期。两个第一个结果用于 TDOA 计算。锚点使用 Tref2 和 Tref3 进行测量周期校正。

AN1 和 AN2 锚点的到达时间差按照以下公式计算：

$$\text{TDOA}_{21} = \text{tp}_3 - \text{tp}_2 = \text{tm}_2 - \text{tm}_3 + \text{t}_3 - \text{t}_2 \quad (1)$$

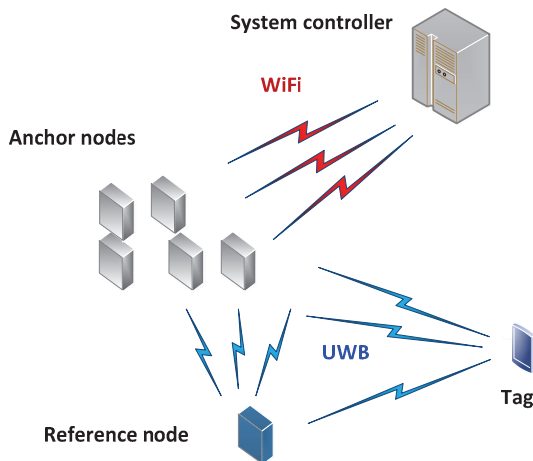


图 1. 本地化系统架构

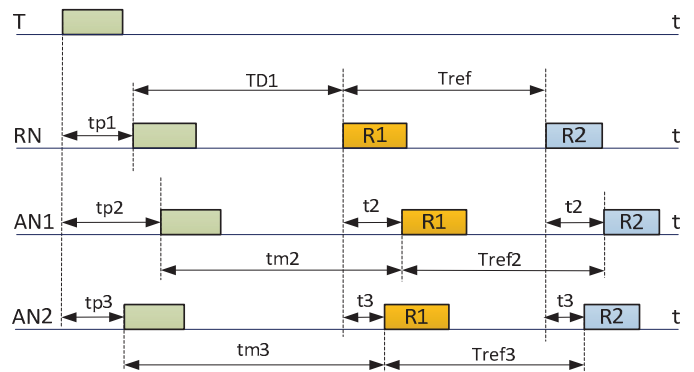


图 3. 定位系统中的传输

tm2 和 tm3 间隔都是间隔 tm2 的更正版本*和 tm3*由锚直接测量。校正包括简单的计算：

$$tm2=tm2*(Tref/Trefn) \tag{2}$$

由于参考期间的测量误差校正会降低结果精度。因此，参考期间使用典型的移动平均公式过滤：

$$特雷夫n=Trefn-1(1-k)+k*Tref2 \tag{3}$$

用于结果校正的当前参考周期值取决于先前值和当前参考周期测量结果（节点 AN1 中的 Tref2）。

四。小号模拟

A. 模拟设置

在Matlab环境中对引入的平均算法进行了仿真。由于测试了参考周期测量的随机误差分量的减少，对由单个锚、一个标签和一个参考节点组成的系统进行了仿真。随机误差分量用平均值等于 0 和标准偏差等于 250 ps 的高斯分布建模。选择的标准偏差的值是基于进行的实验。

已使用从 0.01 到 1 的 13 个 k 系数 (3) 值进行仿真。在每种情况下，收集了 1000 个测试测量值。前 100 个测量值被视为构建初始参考期的“训练值”。最后 900 次测量的标准偏差用于评估系统性能。

B. 模拟结果

不同 k 因子值的参考周期测量值的标准偏差如图 4 所示。

可以看出，k 因子越小，结果的标准偏差越小。它符合理论，因为较小的 k 系数意味着更多的测量结果被考虑到平均。

值得一提的是，出于仿真目的，假设仅存在时钟抖动而没有任何漂移。在现实生活中，这样的说法会被证明是错误的，因此实验结果可能会有所不同，但总体下降趋势将被保留。

五、E实验

为了研究提出的 TDOA 误差减少方法，进行了几个测试。测试在实验室进行。锚节点和参考节点位于图 5 所示位置。

为在房间里行走的人佩戴的标签记录的 TDOA 如图 6 所示。如果没有实施错误减少（锚不使用参考节点传输的参考周期），TDOA 值会如此不同，以至于正确的定位是不可能。

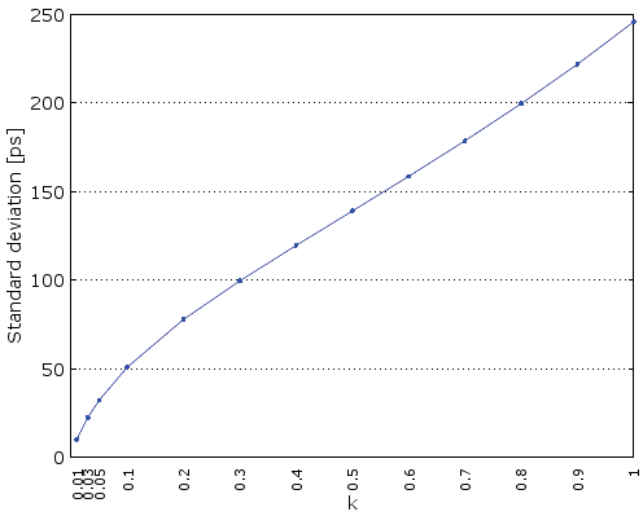


图 4。 测量参考周期与 k 的标准偏差系数

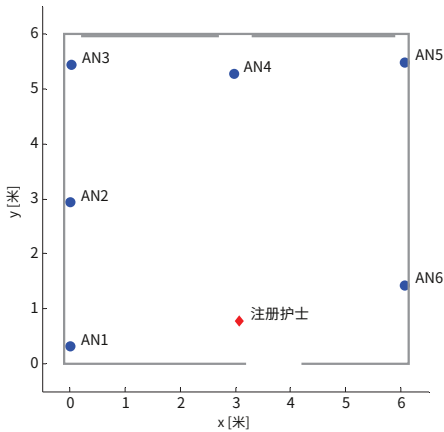


图 5. 锚点和参考节点位置

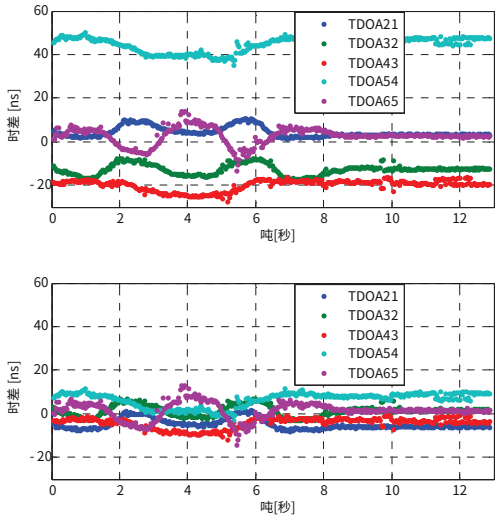


图 6. 校正前后的 TDOA

接下来的测试集中在评估参考期校正效率。该测试取决于放置在房间中间的单个标签的定位。原始测量结果（到达时间和参考周期测量）记录在第 III 节中描述的条件（测量期间锚时钟发生变化）。

如第三节所述，在移动平均算法中使用不同的 k 系数值来校正测量的到达时间。计算出的 TDOA 被用于使用基于扩展卡尔曼滤波器的算法进行标签位置计算。该算法融合了系统提供的所有 TDOA。

为了评估定位精度，计算了 68% 和 95% 的原始位置的圆误差概率 (CEP)。获得的不同 k 系数的 CEP 值如图 7 所示。

平均测量参考周期数的增加导致两个 CEP 值下降。当 $k < 0.05$ 时，趋势相反，因为平均周期没有反映由温度变化引起的内部时钟频率相对较快的变化。

此外，对定义为点位置和获得结果之间的距离的定位误差进行了评估。图 8 显示了所选 k 系数的定位误差的累积分布函数 (CDF)。对于非平均测量参考周期，几乎 70% 的点的确定精度优于 20 厘米。平均后，该比率甚至可以增加到 95%。

六、C 结论

该论文描述了在超宽带定位系统中提供无线锚同步和减少测量误差的方法。无线同步简化了系统安装。所提出的技术可用于锚配备有低稳定性时钟振荡器的系统中。对系统中实施的方法的研究证明了它的效率。通过对参考周期测量结果进行平均，可以显著提高所得结果的精度。

R 参考资料

- [1] 委员会 2009 年 4 月 21 日第 2009/343/EC 号决定修订了第 2007/131/EC 号决定，该决定允许在共同体内以统一的方式将无线电频谱用于使用超宽带技术的设备。
- [2] FCC (GPO) Title 47, Section 15 of the Code of Federal Regulations SubPart F: Ultra-wideband
- [3] JX Lee, ZW Lin, PS Chin and CL Law, “具有时间漂移补偿能力的非同步到达时间差定位方案”，IET Communications, Vol. 5, 第 5 期，2011 年，第 693-699 页
- [4]<https://www.zebra.com/us/en.html>
- [5]<http://www.ubisense.net/en/>
- [6] J. Kolakowski, A. Consoli, V. Djaja-Jo ko, J. Ayadi 和 L. Morrigia, “EIGER 室内/室外定位系统中的 UWB 定位”，第 8 届 IEEE 智能数据采集和高级国际会议论文集计算系统：技术与应用，第一卷，1，2015 年，第 845-849 页。

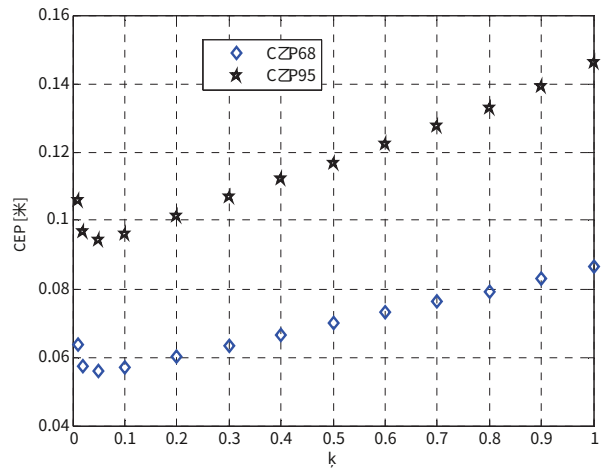


图 7. 循环误差概率与 k 系数

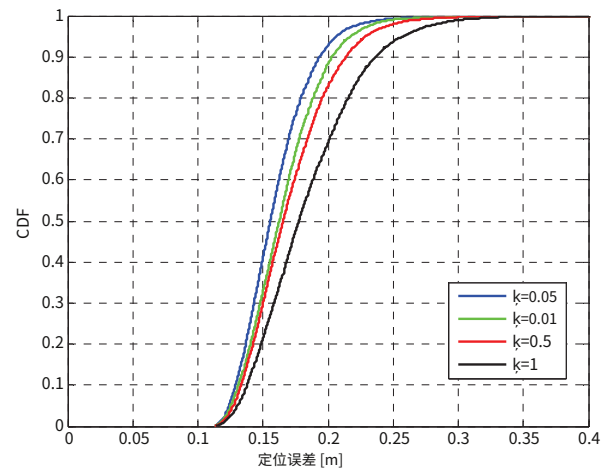


图 8. 所选 k 的定位误差累积分布函数

- [7] C. McElroy, D. Neiryck and M. McLaughlin, “室内定位系统的无线时钟同步算法比较”，通信研讨会会议记录，IEEE 2014，第 157-162 页
- [8] H. Matsumoto, H. Kusano, T. Morokuma 和 K. Sakamura, “基于 TDOA 的超宽带脉冲无线电定位系统的数值和实验研究”，无线传感器和传感器网络会议论文集，IEEE 2011，第 25-28 页
- [9] V. Djaja-Jo ko 和 J. Ko akowski, “UWB 老年人监控定位系统”，2015 年 TELFOR 会议记录，2015 年，第 169-172 页
- [10] Z. Irahauten, H. Nikookar 和 M. Klepper, “使用加入 ToA/DoA 技术的室内多路径环境中的 2D UWB 定位”，无线通信和网络会议论文集，IEEE 2012，第 2253-2257 页
- [11] R. Akbar 和 E. Radoi, “An Overview of Synchronization Algorithms for IR-UWB Systems”，在 Proceedings of Computing, Networking and Communications Conference, 2012, pp. 573-577
- [12] DW1000 数据表，DecaWave Ltd, 都柏林，2014 年