111

误差量测与杂波环境对水下目标跟踪的影响分析

李冬冬1,2，张瑶1，林扬1

1. 中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室，辽宁 沈阳 110016
2. 中国科学院大学，北京 100049

摘 要：在水下特殊的环境中，大误差量测与强杂波环境会对目标跟踪有显著的影响。量测误差越大，则预测门限区域越大，杂波密度越高，那么轨迹更易于与杂波关联，进而降低正确量测的权重，滤波精度因此下降。本文依据量测误差模型与杂波模型，建立了误差量测与杂波对水下目标跟踪的影响模型。依据该模型可定量分析量测误差与杂波对目标跟踪的影响，可为目标跟踪滤波器提高抗杂波能力或者提高滤波精度提供理论依据。

关键字： 目标跟踪，大误差量测，强杂波环境，阈值，理论分析。

**中图分类号：**TP271 **文献标识码：**A

Analyses of measurement errors and clutter environment affecting the underwater target tracking

Dongdong Li1,2, Yao Zhang1, Yang Lin1

1. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Science, Shenyang, China
2. University of Chinese Academy of Science, Beijing, China.

Corresponding author: Email: lidongdong@sia.cn

**Abstract:** In the harsh underwater environment, large measurement errors and heavy clutter certainly pose additional difficulties and challenges to the target tracking. The larger the measurement errors are, the larger the validation prediction area is, the heavier the clutter is, and then the target’s track is easier to associate with clutter, which will decrease the estimation accuracy. This paper presents the model of large measurement errors and heavy clutter affecting the target tracking, based on the statistic characteristic of large measurement errors and heavy clutter. So we can quantitatively analyze the effect of large measurement errors and heavy clutter for improving the performance of filter or providing the theoretical foundation of target tracking.

**Key words:** target tracking, noisy measurement, heavy clutter, quantitatively analyses.

1. **简介**

现如今，目标跟踪遍及生产生活的各个方面，如民用领域中空中交通管制与视频监控系统，军用领域中运动目标的预警与火力控制等[1-4]。随着科学与技术的进步，越来越多的财力与物力投入到目标跟踪领域，目标跟踪理论与技术得以迅速发展。但无论是军事还是民用研究，就水下特殊的环境而言，如大误差量测和强杂波环境，目标跟踪依旧是一个非常重要的研究领域，仍有许多关键而且迫切的问题尚未解决[5-8]。

就目标跟踪而言，水下环境的特殊性在于1)量测误差大；2)声纳探测频率低；3)海洋环境杂波多。

量测误差大，是指相对于目标的运动因素，传感器量测因素不可以忽略。量测误差大，导致门限区域变大，致使更多的杂波落入门限区域内，进而降低轨迹与正确量测关联的概率，从而导致目标跟踪精度下降，尤其是在跟踪距离较远的目标。

声纳探测频率低，是单位时间内获得目标的数据信息少。在空气中，电磁波传播速度极快，因此雷达可以以高频率获得目标的量测信息。水下声学探测系统存在着探测时延大，探测频率低，也即单位时间内可获得的目标数据信息量少。那么，相对于雷达而言，其需要更长时间才能获得更准确、更确定的水下目标信息[9]。

海洋环境杂波多，即强杂波环境，指环境中存在不可忽略的类似目标的量测，在目标跟踪过程中，会降低目标轨迹与正确量测关联的概率，进而降低滤波精度。

就本文而言，仅仅讨论大误差量测与强杂波环境对目标跟踪的影响，并为目标跟踪提供参考依据，其中大误差量测涉及声纳探测频率低。当然还有其他环境因素或者传感器因素也影响目标跟踪效果，如探测目标传感器单一，水下通信困难，不利于组网等[10]，但这些因素在此文中暂不考虑。

此文章的组织结构如下，在第二章详细介绍大误差量测，以及其对目标跟踪的影响。在第三章详细介绍强杂波环境，以及其对目标跟踪的影响。在第四章通过仿真分析大误差量测和强杂波环境对目标跟踪的影响。在第五章，总结全文。

1. **大误差量测**

量测误差反应了传感器对目标的量测精度，大误差量测是指传感器的量测因素相对于目标的运动因素，对目标状态的估计存在不可忽略的影响。文献[11]详细介绍了在航迹起始阶段，量测因素与目标运动因素之间的关系，并且大误差量测如何影响航迹起始性能的。但其中有两个关键的问题尚未解释清楚：1)如何定义大误差量测环境；2)如何确定航迹起始阶段的门限。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ≥ | 1 | 23 |

首先阐述如何定义大误差量测环境。假设是采样周期，是目标的最大速度，是量测协方差矩阵的短轴长，如果不等式(1)成立，则表示属于大误差量测环境。下文介绍式(1)的推导过程。

大误差量测是指在目标的速度方向上，前后两帧的量测区域有大面积重叠。如图1所示，红色点是目标的真实但是未知的状态，绿色点是目标含有误差的量测点，数字表示时间，大圆圈表示目标的有效量测区域，空心箭头表示目标的真实运动方向，实心箭头表示目标的初始估计值(长度代表估计速度大小，箭头方向代表估计速度方向)。由图1可知当两个量测区域相距越远(重叠区域越小或无重叠区域)，即量测误差相对于运动因素越小，目标的初始估计值越准确；当重叠的量测区域越大，即量测误差相对于运动因素越大，则初始估计值误差越大。因此在目标跟踪过程中，首先应该确定是否是大误差量测环境。

**图1.** 量测因素与目标运动因素对初始状态估计的影响。



**图2.** 沿着速度方向量测1标准差与量测协方差矩阵1标准差的关系。

假设在二维平面对目标进行跟踪并分析量测分布特征，如图2所示，在某时刻目标的量测分布图，图中椭圆为量测协方差矩阵的1标准差分布图。则沿着速度方向的量测分布1标准差是介于长轴与短轴之间，如下式

|  |  |
| --- | --- |
|  | 45 |

考虑极限情况，可令，如果当时属于大误差量测情况，那么当速度方向改变时，同样也属于大误差量测情况。沿着目标速度方向，第*k*时刻目标的量测分布为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  |  |

其中a为任意值，表示高斯分布，此时为标量，第*k*+1时刻目标沿着速度方向移动最大位移的量测分布为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  |  |

则

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  |  |

为了简化处理，可令

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 67 |

则依据高斯分布特征可得

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  |  |

如果量测误差比较小或者目标的速度(最大速度)比较大，则<0的概率很小，如果量测误差比较大，则<0的概率相对变大，<0的概率越大，则航迹起始阶段，对速度的估计误差越大，则<0的概率可衡量量测误差的大小。假设函数，是标准正太分布的分布函数，则如果<0的概率大于，可定义为大误差量测，即当

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | 89 |

即可得式(1)，依据标准正太高斯分布特征，则对应<0的概率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | 1011 |

即当式(1)成立时，则估计速度的方向与目标真实速度的夹角超过90度的概率不小于0.1578，此种情形定义为大误差量测环境。从式(1)可知，当速度(最大速度)越小，传感器量测误差越大，航迹起始对初始状态估计越困难；反之，越容易。由此可见大误差量测与目标的最大运动速度、传感器量测精度以及采样周期有关。式(1)证明完毕。

然后阐述如何确定航迹起始阶段的门限,

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 1213 |

其中是预测区域的门限，是量测协方差矩阵的长轴长，*dk*是两次关联扫描间隔次数，是一个可调节的参数。假设在二维空间中，第*k*时刻目标的量测分布为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  |  |

其中为二维空间矢量，是*k*时刻目标真实而未知的二维空间位置，是二维量测标准差。则目标在以最大速度运动情况下，*k*+*dk*时刻目标量测分布为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ~ |  |

其中为了简化处理，可令，并且

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 1415 |

表示向量的2范数。则

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ~ |  | 1617 |

为了简化处理，可令

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 1819 |

的意义在于其所确定的区域内，使目标第*k*帧与第*k*+*dk*帧量测相关联的概率不小于概率，即

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | 2021 |

如图3所示，描述与目标运动因素、量测因素的关系，以及的分布图。其中黑色椭圆是以为圆心，1标准差是的分布区域，即黑色椭圆包含的概率0.3935。红色点线椭圆是包含概率为0.9的区域。其概率与倍标准差之间的关系为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 2223 |

式(10)指明所确定的圆形区域是以原点为圆心，为半径，以不小于概率包含的区域。结合图3，并适当简化分析，当时，则可使所确定的区域包含的概率不小于。其中反应目标的运动因素，反应传感器的量测性能以及概率要求。

至此，式(1)和式(6)证明完毕。



**图3.** 依据目标的速度因素，传感器量测因素以及概率要求确定门限大小。

当处于跟踪阶段时(目标轨迹已经确认，并且目标状态经过合理地初始化赋值)，预测门限定义为

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  |  | 2425 |
|  | = |  | | | 2627 |

其中是声纳在第*k*时刻的量测，是第*k*时刻的量测矩阵，是第*k*时刻的目标状态，第*k*时刻的新息协方差矩阵。则对应于预测区域的门限。调节也可依据式(11)来确定，即

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 2829 |

是对应的区域包含预测量测的概率。

门限所确定的区域，则以的概率包含预测量测，即假如值为0.9而且目标被检测到，那么下一时刻目标的量测以0.9的概率落入到由式(1)和(6)所确定区域。即赋予所确定区域的置信度。同理，与之间的关系也是如此。

由式(6)和(12)可得，无论是在航迹起始阶段还是在目标跟踪阶段，门限均与传感器量测精度有关。传感器量测精度越高，量测协方差矩阵越小，和越小，则门限区域越小，此时杂波落入区域的概率也就降低，而门限区域包含源于目标量测的概率保持不变，以此提高目标跟踪的估计精度。

此外，在实际声纳应用环境中，声纳获得目标在2维空间中的距离和角度信息，同时也包含环境中的杂波。一般情况，没有额外的量测特征信息区分杂波与目标量测。源于目标的量测仅仅取决于目标当前的状态，并服从高斯分布，如下式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 3031 |
|  | = |  | 3233 |
|  | = |  | 3435 |

其中是目标的状态，和直角坐标系下*k*时刻目标的位置，和是*k*时刻目标的速度。是零均值高斯量测噪声，其方差为。是量测函数，是量测噪声的二阶矩。是声纳的状态。对于主动声纳，量测协方差矩阵通常是已知的。

在量测方程中，量测量与状态量之间的函数关系往往建立在极坐标系下，然而在多数系统中，目标运动模型往往建立在直角坐标系下。此种情况要么将极坐标量测转化为直角坐标系下的量测，然后在直角坐标系下，采用伪线性滤波方法处理状态与量测关系。要么在混合坐标系下，采用非线性滤波方法[12]。为了简化分析，我们采用前一种方法，首先进行无偏转换，即首先将极坐标系下的量测转化为直角坐标系下的量测，如下式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 3637 |
|  | = |  | 3839 |
|  | = |  | 4041 |

其中是无偏转换之后直角坐标系下的量测，是声纳传感器极坐标系下的量测，是极坐标下的距离量测标准差和角度量测标准差，是转换偏差。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | | 4243 |
|  | = |  | | |
|  |  |  | | |
|  |  | 4445 | | |
|  | = |  | | |
|  |  |  | | |
|  |  | 4647 | | |
|  | = |  | | |
|  |  | 4849 | | |
|  | = |  | 5051 | |

则是无偏转换之后直角坐标系下的量测协方差矩阵，和中间变量。

经过量测转换之后，式(15-17)可简化为线性量测方程，如下式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 5253 |
|  | = |  | 5455 |
|  | = |  | 5657 |

其中是转化之后的量测噪声,是直角坐标系下的量测矩阵。

由于传感器量测的精度往往与量测距离成正比，因此，距离传感器较近的量测属于高精度量测，距离传感器较远的区域属于大误差量测。例如，声纳可以探测目标的距离和角度信息，其中距离标准差是声纳与目标真实距离的0.015倍，角度标准差是1度，因此距离目标越远，其量测协方差矩阵越大。因此对于声纳探测轴线上的目标，由近到远，会依次出现探测精度高到探测精度低的过程，即大误差量测不仅仅与目标的速度，传感器精度有关，还间接地与目标到传感器的距离有关。

1. **强杂波环境**

杂波密度反应目标跟踪背景环境的统计特征[13]。杂波密度定义为传感器有效观测区域内杂波的平均个数，即

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 5859 |

杂波个数与位置分布均是随机变量，且仅仅取决于并反应当前环境统计特征。通常情况，杂波的个数服从泊松分布，即

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 6061 |

其中是泊松函数。杂波的位置量测在有效观测区域内服从均匀分布。



**图 4.** 强杂波环境在航迹起始阶段有不可忽略的影响。红色点表示源于杂波量测，绿色点表示源于目标的量测，数字表示量测时刻。轨迹1是一条虚假轨迹，轨迹3是一条源于目标的轨迹，轨迹2是一条“半正确”的轨迹。

在强杂波环境中，杂波对目标跟踪有不可忽略的影响。例如在航迹起始阶段，杂波密度过高会显著地增大航迹起始的困难，如图4所示，轨迹1的量测完全是由杂波构成；轨迹2中部分量测源于杂波，其他的源于目标；轨迹3的量测完全源于目标。轨迹1则属于虚警，会增加计算机负担，并且干扰跟踪者决策。轨迹2会恶化目标的初始化精度，因为其包含了一些杂波，因此轨迹2量测特征并不完全反应目标的运动特征。轨迹3才是跟踪者所希望的轨迹。强杂波环境会增加轨迹1和轨迹2的个数，减少轨迹3的个数。

在目标稳定跟踪阶段，强杂波环境会增加杂波对轨迹干扰，降低正确量测的权重，如图5所示。量测1、2和3位于有效预测区域内，滤波器会给与三个量测赋予不同的权值；其中量测2是源于目标的量测，其余的均是杂波。杂波密度越高，落入波门区域内的杂波个数越多，滤波器会对所有波门区域内的量测分配相应的权重，如此便稀释了正确量测的权重，进而降低了目标状态的估计精度，并且增加了计算量。



**图 5.** 强杂波环境在目标跟踪阶段会降低正确量测关联概率，进而降低目标估计精度。红色点表示源于杂波量测，绿色点表示源于目标的量测，圆圈表示目标的预测区域。

此外，强杂波环境与大误差量测的叠加效果会进一步增加目标跟踪的困难。量测误差越大，杂波密度越高，轨迹与量测的关联正确率就越低。比如，当没有量测误差时，无论杂波密度多高，我们均可以采用“点与点连线”方式进行数据关联，简单而且有效。但是如果存在量测误差，“点与点连线”方式就不再起作用，那么必须要考虑杂波与误差量测的共同影响。

1. **分析与仿真**

在航迹起始阶段，如式(6)所确定的预测区域内，定义出现正确量测的概率与出现杂波的概率之比为关联概率比，用来衡量杂波与量测误差对目标跟踪的综合效果，其表达式为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 6263 |

依据式(6)(11)(29)和(30)可得

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | = |  | 6465 |

在航迹起始阶段，单独考虑量测误差对目标跟踪的影响。如图6所示，当杂波密度不变0.0000023，量测误差由0到300米变化时，关联概率比随量测误差的变化情况(量测误差的大小等价于量测协方差矩阵的长轴长)。当不存在量测误差时候，或者如果目标距离声纳非常近，在航迹起始阶段所确定的门限内，潜在轨迹被正确量测更新的概率大约是被杂波更新概率的8倍，如果量测误差比较大(长轴长为157米，也即在9000米探测边界处)被两者更新的概率几乎相等。当量测误差继续增大，那么关联概率比则稳定在0.81附近，不再衰减。此外从图6中可以看出，当量测误差变大时，其关联概率比是成指数衰减的。这说明，如果在距离声纳较近的位置，提高传感器量测性能，会显著提高关联正确率，进而提高航迹起始性能。



**图 6.** 航迹起始阶段，有效预测区域内，杂波密度保持不变(=0.0000023)，量测误差增加，则关联概率比在某个区间段内以指数衰减，量测误差会显著影响航迹起始效果。量测误差的大小可等价于量测协方差矩阵的长轴长。目标的检测概率为0.9，波门概率设置为0.9。



**图 7.** 航迹起始阶段，有效预测区域内，量测误差保持不变(长轴为157米)，关联概率比随杂波密度在某个区间段内会成指数衰减。目标的检测概率为0.9，波门概率设置为0.9。

如图7所示，在航迹起始阶段，关联概率比随杂波密度之间的关系。与关联概率比随量测误差之间的关系相类似，随着杂波密度的增加，概率比以指数关系迅速减小，并且当杂波密度大于临界值0.000005时，变化逐渐趋于稳定值0.81。此说明，当杂波密度小于临界值时，关联概率比对杂波密度的变化很敏感，需要慎重对待杂波密度的变化。而当杂波密度大于临界值，需要考虑杂波的影响，但不必关心杂波密度的具体值。



**图 8.** 航迹起始阶段，有效预测区域内，概率比随杂波密度和量测误差的变化关系。从图中可以看出，存在某个区域当杂波密度减小或者量测误差减小，其关联概率比会迅速增大。而且杂波与量测误差有正强化作用。

如图8所示，关联概率比随着杂波密度与量测误差变化图。从图中可得当杂波密度为0.00000237，量测误差长轴为161米时，潜在轨迹被目标量测更新与被杂波更新的概率相等。0.00000237相当于在声纳探测半径为9000米的范围之内杂波均值为603个，量测误差协方差矩阵长轴为161米相当于目标正好在声纳的探测边界。结合图6和图7，也可知，概率比发生显著变化的区域是杂波密度在0.000002-0.000005之间，长轴在0-80之间。此外，从图8的整体趋势可以得出，杂波与量测误差有正强化作用，会使航迹起始阶段的门限确定更加困难。

在目标稳定跟踪阶段，如式(12)所确定的预测区域内，也可以用关联概率比来衡量误差量测与杂波对目标跟踪的综合影响。依据式(12)(13)(14)(29)和(30)可得

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | = |  |  | 6667 |

由式(33)可得传感器对目标的检测概率、自定义的门限概率、环境特征以及传感器量测精度，影响关联概率比。相比航迹起始阶段，不再受目标运动因素，传感器采样速率也不直接影响关联概率比。为了简化分析，可令。



**图 9.** 跟踪阶段，关联概率比随杂波密度和量测误差的变化关系。从图中可以看出，与图6相类似，存在某个区域当量测误差减小，其关联概率比会迅速增大。目标的检测概率为0.9，波门概率设置为0.9。

图9，当杂波密度不变0.0000023，量测误差由0到300米变化时，关联概率比随量测误差的变化情况。当不存在量测误差时候，或者如果目标距离声纳非常近(长轴长小于50米)，目标跟踪阶段所确定的门限内，轨迹被正确量测更新的概率大约是被杂波更新概率的10倍以上，即此时几乎可以不考虑杂波的影响。如果量测误差比较大(长轴长大于100米)杂波对概率比的影响显著增加，此时必须考虑杂波的影响，因为杂波参与滤波器更新过程的几率非常大。此外从图中可以看出，当量测误差变大时，其关联概率比是成指数衰减的。这说明，如果在距离声纳较近的位置(小于临界值100)，提高传感器量测性能，会显著提高关联正确率。

如图10所示，当量测误差不变时(长轴长为100米)，关联概率比随杂波密度之间的关系。其与关联概率比随量测误差之间的关系相类似，随着杂波密度的增加，概率比以指数关系迅速减小。

如图11所示，关联概率比随着杂波密度与量测误差变化图。从图中可得当杂波密度为=0.000006，量测误差长轴为133.9m时，潜在轨迹被目标量测更新与被杂波更新的概率相等。随后当杂波密度减小或者量测误差减小时，关联概率会迅速增大。结合图8，目标跟踪稳定阶段与航迹起始阶段的关联概率比变化有相似性也有区别。相似性在于整体趋势不变，区别在于，在同样的杂波密度和量测误差的情况下，稳定跟踪时的关联概率比要大于(甚至是远大于)航迹起始阶段的情况，由此可得，在航迹起始阶段更应该关注杂波密度变化与量测误差变化。



**图 10.** 跟踪阶段，关联概率比随杂波密度的变化关系。从图中可以看出，与图7相类似，存在某个区域当杂波密度增大时，其关联概率比会迅速减小。目标的检测概率为0.9，波门概率设置为0.9。



**图 11.** 跟踪阶段，关联概率比随杂波密度和量测误差的变化关系。从图中可以看出，与图8相类似，存在某个区域当杂波密度减小或者量测误差减小，其关联概率比会迅速增大。而且杂波与量测误差有正强化作用。

分析量测误差和杂波密度对关联概率比的影响，可以指导对目标跟踪中关键参数的选择，比如在航迹起始阶段，采用基于逻辑的航迹起始方法，当杂波密度小于0.000001几乎可以不考虑杂波的影响，依据此可以提高波门门限，进而增加目标的检测概率，尽快得到目标的轨迹，同时几乎不增加虚警概率[14]。再比如当处于稳定的目标跟踪阶段，采用概率数据关联方法对目标进行跟踪[15]，当量测误差长轴小于50时候(或者当目标距离声纳较近时候)，几乎不考虑杂波的影响，当长轴大于100(即当目标较远的时候)必须考虑杂波对滤波器的影响，或者慎重地考虑门限等相关参数的选择[16]。

1. **总结**

本文阐述了大误差量测与强杂波环境对目标跟踪的影响，为目标跟踪参数的确定提供依据。杂波环境与传感器量测因素对目标跟踪的影响有一个从量变到质变的过程，此可以从关联概率比(轨迹被正确量测更新的概率与被杂波更新的概率之比)的变化趋势得出。关联概率比越大，则表示目标跟踪环境越理想，可以选择较大的波门门限，来增加轨迹与正确量测的关联概率。如果概率比比较小，那么我们就要慎重考虑波门门限的选择，或者增加更多的传感器，获得目标更多的量测信息，如幅值信息，径向速度信息，去分辨杂波与源于目标的量测，进而提高关联正确率，增加对目标的滤波精度。

1. **参考文献**

[1] M. N. V. S. S. Kumar, N. Modalavalasa, L. Ganesh, K. S. Prasad, and G. S. Rao, "A new approach for tracking moving objects in underwater environment," Current Science, vol. 110, pp. 1315-1323, Apr 10 2016.

[2] D. V. A. N. R. Kumar, S. K. Rao, and K. P. Raju, "A novel stochastic estimator using pre-processing technique for long range target tracking in heavy noise environment," Optik, vol. 127, pp. 4520-4530, 2016 2016.

[3] J. Yan, H. Liu, B. Jiu, Z. Liu, and Z. Bao, "Joint Detection and Tracking Processing Algorithm for Target Tracking in Multiple Radar System," IEEE Sensors Journal, vol. 15, pp. 6534-6541, 2015.

[4] K. D. S. Raj and I. M. Krishna, "Kalman filter based target tracking for track while scan data processing," in Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015 2nd International Conference on, 2015, pp. 878-883.

[5] H. Liu, H. Liu, X. Dan, S. Zhou, and J. Liu, "Cooperative track initiation for distributed radar network based on target track information," IET Radar, Sonar & Navigation, vol. 10, pp. 735-741, 2016.

[6] M. Mallick, Y. Bar-Shalom, T. Kirubarajan, and M. Moreland, "An improved single-point track initiation using GMTI measurements," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 51, pp. 2697-2714, 2015.

[7] [王康](http://www.cnki.net/kcms/detail/search.aspx?dbcode=CJFQ&sfield=au&skey=çåº·&code=33615944;08785934;34317311;), [蒋志迪](http://www.cnki.net/kcms/detail/search.aspx?dbcode=CJFQ&sfield=au&skey=èå¿è¿ª&code=33615944;08785934;34317311;), [张晴月](http://www.cnki.net/kcms/detail/search.aspx?dbcode=CJFQ&sfield=au&skey=å¼ æ´æ&code=33615944;08785934;34317311;). 基于IMMKF-3D的水下目标跟踪算法. 设计与实现. 2016年16期.

[8] 欧阳成. 基于随机集理论的被动多传感器多目标跟踪. 西安电子科技大学. 2012.

[9] 邹吉武. 多基地声纳关键技术研究. 哈尔滨工程大学. 2012.

[10]朱光明. 异步水下传感器网络目标跟踪算法研究. 浙江大学. 2015.

[11] J. Daxiong and L. Dongdong, "An improved sequential initiation method for multi-target track in clutter with large noise measurement," Mathematical Problems in Engineering, Aug. 2014.

[12] S. W. Yeom, T. Kirubarajan, and Y. Bar-Shalom, "Best linear unbiased filtering with nonlinear measurements for target tracking," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 40, p. 17, 2004.

[13] H. L. Kennedy, "Powerful Test Statistic for Track Management in Clutter," vol. - 50, pp. - 223, 2014.

[14] H. Zhijian, H. Leung, and M. Blanchette, "Statistical performance analysis of track initiation techniques," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 45, pp. 445-456, 1997.

[15] H. L. Kennedy, "Comparison of MHT and PDA track initiation performance," in 2008 International Conference on Radar, 2008, pp. 508-512.

[16] M. S. Aslan and A. Saranli, "Threshold Optimization for Tracking a Nonmaneuvering Target," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 47, pp. 2844-2859, 2011.