1. 了解 Linux 系统：阅读《鸟哥的 Linux 私房菜》自学前三部分内容，或利用互联网进行学习，简答以下问题；（3 分）

    1. 列举三个你常用的 Linux 命令，并说明他们的功能。

        1. `man` 指令，是manual(操作说明)的缩写，该指令用于查看其他指令的详细说明；比如 `$ man date` ，就会出现有关 `date` 的详细说明。
        2. `cd` 指令，是change directory（改变目录）的缩写，该指令用于改变工作目录；比如 `$ cd /home/tx-ubuntu64` ，就会将当前目录变为 `/home/tx-ubuntu64` 。
        3. `mkdir` 指令，是make directory（创建目录）的缩写，该指令用于创建新目录；比如 `$ mkdir abc` ,就会创建文件夹abc。

    2. 一句话简要介绍 Vim 的功能，如何在 Vim 中进行插入和删除，如何保存并退出 Vim?

        1. Vim 是 vi 进阶版本的文本编辑器，Vim 可以用颜色或底线等方式来显示一些特殊的信息。
        2. 在一般模式中，按下 `i` （i, I, o, O, a, A, r, R）进入编辑模式，开始编辑（包括插入和删除）文字，按下 `Esc` 即可退出编辑模式。
        3. 在一般模式中，按下 `:wq` 保存并退出Vim。

    3. 列举两种常用的 Linux 压缩和解压缩命令。

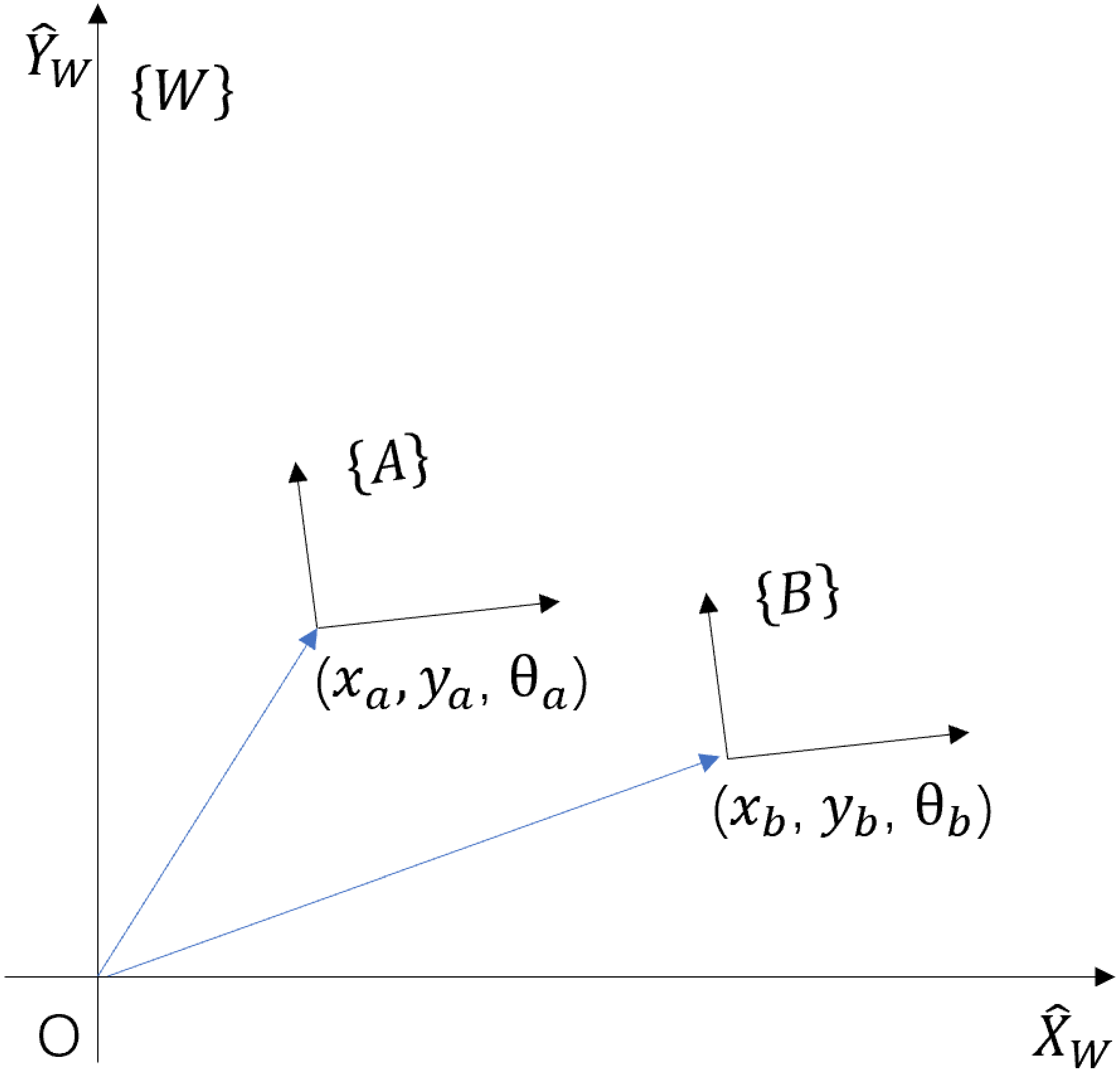
        1. `tar` 指令，解压 `tar zxvf FileName.tar.gz` ，压缩 `tar zcvf FileName.tar.gz DirName` 。
        2. `unzip` 指令与 `zip` 指令，解压 `unzip FileName.zip` ，压缩 `zip -q -r FileName.zip FileName` 。

2. 了解 ROS：观看 ROS 免费公开课或前往 ROS 官网学习官方教程，安装好 ROS，提供运行小海龟跑的截图；（3 分）

3. 学习机器人姿态描述入门材料，完成坐标转换推导；（3 分）
设机器人的世界坐标为 xa, ya，其相对于世界坐标系的方向为 θa（右手坐标系）。假设机器人旁边有一物体在世界坐标系下的位姿为（xb, yb, θb）,请问：

1. > 该物体相对于机器人的位置和朝向是什么，即该物体在当前机器人坐标系下的位姿是多少？

解：设世界坐标系为 $\{W\}$，机器人坐标系为 $\{A\}$，物体坐标系为 $\{B\}$，则



$\hat{Y}_W$
$\{W\}$
$\{A\}$
(x_a, y_a, θ_a)
$\{B\}$
(x_b, y_b, θ_b)
O
$\hat{X}_W$

$$
\begin{aligned}
{}^A_BT &= {}^A_WT \cdot {}^W_BT \\
&= {}^W_AT^{-1} \cdot {}^W_BT \\
&= \begin{bmatrix} {}^W_AR^T & -{}^W_AR^T \cdot {}^W_AP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^W_BR & {}^W_BP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} {}^W_AR^T \cdot {}^W_BR & {}^W_AR^T \cdot {}^W_BP - {}^W_AR^T \cdot {}^W_AP \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} {}^W_AR^T \cdot {}^W_BR & {}^W_AR^T \cdot ({}^W_BP - {}^W_AP) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

式中：

$$
\begin{aligned}
{}^W_AR^T \cdot {}^W_BR &= \begin{bmatrix} cos\theta_a & -sin\theta_a \\ sin\theta_a & cos\theta_a \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} cos\theta_b & -sin\theta_b \\ sin\theta_b & cos\theta_b \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_a & sin\theta_a \\ -sin\theta_a & cos\theta_a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} cos\theta_b & -sin\theta_b \\ sin\theta_b & cos\theta_b \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_a cos\theta_b + sin\theta_a sin\theta_b & -cos\theta_a sin\theta_b + sin\theta_a cos\theta_b \\ -sin\theta_a cos\theta_b + cos\theta_a sin\theta_b & sin\theta_a sin\theta_b + cos\theta_a cos\theta_b \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos(\theta_b - \theta_a) & -sin(\theta_b - \theta_a) \\ sin(\theta_b - \theta_a) & cos(\theta_b - \theta_a) \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
{}^W_AR^T \cdot ({}^W_BP - {}^W_AP) &= \begin{bmatrix} cos\theta_a & -sin\theta_a \\ sin\theta_a & cos\theta_a \end{bmatrix}^T \cdot (\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix}) \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_a & sin\theta_a \\ -sin\theta_a & cos\theta_a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_b - x_a \\ y_b - y_a \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} (x_b - x_a)cos\theta_a + (y_b - y_a)sin\theta_a \\ -(x_b - x_a)sin\theta_a + (y_b - y_a)cos\theta_a \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

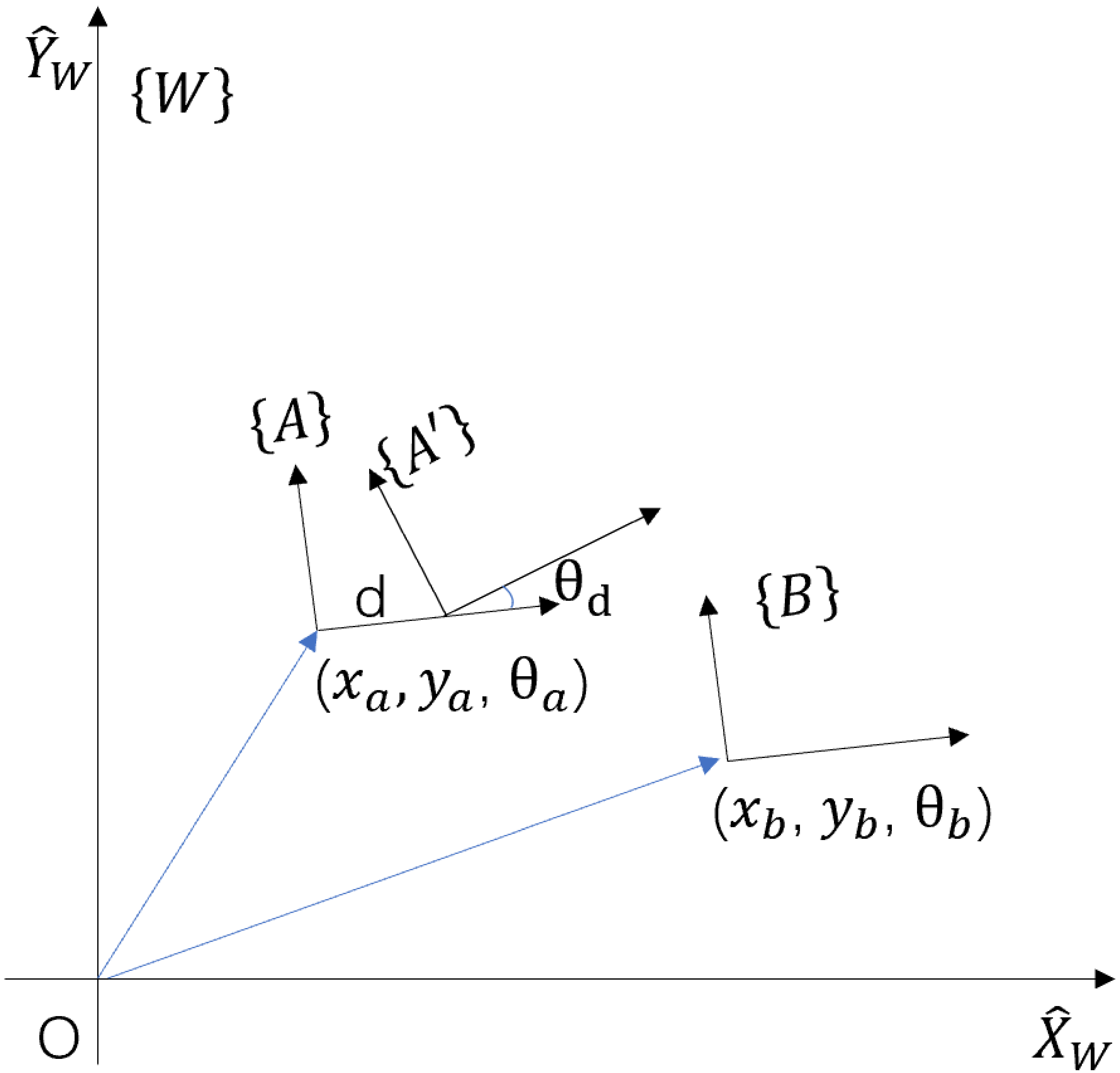
代入：

$$
{}^A_BT = \begin{bmatrix} cos(\theta_b - \theta_a) & -sin(\theta_b - \theta_a) & (x_b - x_a)cos\theta_a + (y_b - y_a)sin\theta_a \\ sin(\theta_b - \theta_a) & cos(\theta_b - \theta_a) & -(x_b - x_a)sin\theta_a + (y_b - y_a)cos\theta_a \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

位姿为：$((x_b - x_a)cos\theta_a + (y_b - y_a)sin\theta_a, -(x_b - x_a)sin\theta_a + (y_b - y_a)cos\theta_a, \theta_b - \theta_a)$。

2. > 机器人此时朝它的正前方（机器人坐标系 X 轴）行进了 d 距离，然后又转了 θd角，请问物体此时在这一时刻机器人坐标系下的位姿是多少？

解：移动后的机器人坐标系为 $\{A'\}$，则


$\hat{Y}_W$
$\{W\}$
$\{A\}$
$\{A'\}$
d
θ_d
$\{B\}$
(x_a, y_a, θ_a)
(x_b, y_b, θ_b)
O
$\hat{X}_W$

$$
\begin{aligned}
{}^{A'}_{B}T &= {}^{A'}_{A}T \cdot {}^{A}_{B}T \\
&= {}^{A}_{A'}T^{-1} \cdot {}^{A}_{B}T \\
&= \begin{bmatrix} {}^{A}_{A'}R^T & -{}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{A'}P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} {}^{A}_{B}R & {}^{A}_{B}P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} {}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{B}R & {}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{B}P - {}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{A'}P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} {}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{B}R & {}^{A}_{A'}R^T \cdot ({}^{A}_{B}P - {}^{A}_{A'}P) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

式中：

$$
\begin{aligned}
{}^{A}_{A'}R^T \cdot {}^{A}_{B}R &= \begin{bmatrix} cos\theta_d & -sin\theta_d \\ sin\theta_d & cos\theta_d \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} cos(\theta_b-\theta_a) & -sin(\theta_b-\theta_a) \\ sin(\theta_b-\theta_a) & cos(\theta_b-\theta_a) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_d & sin\theta_d \\ -sin\theta_d & cos\theta_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} cos(\theta_b-\theta_a) & -sin(\theta_b-\theta_a) \\ sin(\theta_b-\theta_a) & cos(\theta_b-\theta_a) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_d cos(\theta_b-\theta_a) + sin\theta_d sin(\theta_b-\theta_a) & -cos\theta_d sin(\theta_b-\theta_a) + sin\theta_d cos(\theta_b-\theta_a) \\ -sin\theta_d cos(\theta_b-\theta_a) + cos\theta_d sin(\theta_b-\theta_a) & sin\theta_d sin(\theta_b-\theta_a) + cos\theta_d cos(\theta_b-\theta_a) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos((\theta_b-\theta_a)-\theta_d) & -sin((\theta_b-\theta_a)-\theta_d) \\ sin((\theta_b-\theta_a)-\theta_d) & cos((\theta_b-\theta_a)-\theta_d) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} cos(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & -sin(\theta_b-\theta_a-\theta_d) \\ sin(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & cos(\theta_b-\theta_a-\theta_d) \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
{}^{A}_{A'}R^T \cdot ({}^{A}_{B}P - {}^{A}_{A'}P) &= \begin{bmatrix} cos\theta_d & -sin\theta_d \\ sin\theta_d & cos\theta_d \end{bmatrix}^T \cdot (\begin{bmatrix} (x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a \\ -(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix}) \\
&= \begin{bmatrix} cos\theta_d & sin\theta_d \\ -sin\theta_d & cos\theta_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} (x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d \\ -(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} [(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]cos\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]sin\theta_d \\ -[(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]sin\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]cos\theta_d \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

代入：

$$
{}^{A'}_{B}T = \begin{bmatrix} cos(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & -sin(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & [(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]cos\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]sin\theta_d \\ sin(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & cos(\theta_b-\theta_a-\theta_d) & -[(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]sin\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]cos\theta_d \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

位姿为：$([(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]cos\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]sin\theta_d, -[(x_b-x_a)cos\theta_a + (y_b-y_a)sin\theta_a - d]sin\theta_d + [-(x_b-x_a)sin\theta_a + (y_b-y_a)cos\theta_a]cos\theta_d, \theta_b-\theta_a-\theta_d)$。

4. 完成基础数学坐标转换的代码作业。（3 分）

解：

```
// TODO 参照第一课PPT
// start your code here (5~10 lines)
Eigen::Matrix3d TOA;
TOA << cos(A(2)), -sin(A(2)), A(0),
    sin(A(2)),  cos(A(2)), A(1),
        0,          0,        1;
Eigen::Matrix3d TBA = TBO * TOA;
cout << TBA << std::endl;
BA << TBA(0, 2),
    TBA(1, 2),
    atan2(TBA(1, 0), TBA(0, 0));

// end your code here
```

运行结果为：

```
$ ./basicTransformStudy
TBA:
-1.83697e-16           -1            2
           1 -1.83697e-16            1
           0            0            1
The right answer is BA: 2 1 1.5708
Your answer is BA:      2      1 1.5708
```

详见代码附件。