**用于躯干姿势矫正设备的BLE数据包通信协议规范**

**概述**

本规范概述了用于躯干姿势矫正设备的BLE数据包通信协议。该设备利用IMU（惯性测量单元）来测量躯干倾斜角度，并与移动应用程序通信以传输数据、更新阈值和控制振动器。本文档旨在指导软件工程师设计微控制器固件和移动应用程序用户界面。

**BLE服务和特征**

**1. 姿势数据服务（UUID: 0x1801）**

* **角度数据特征（UUID: 0x2A01）**
  + **属性**：通知
  + **格式**：兩個表示躯干倾斜角度/朝向的**32位浮點數**（单位为度，**共兩個方向**）
  + **描述**：将当前躯干倾斜角度传输给移动应用程序。倾斜角度分别是「前后」、「左右」。角度的最大范围是 ±90.0度，大于范围不更新，振动器不工作。
    - 「前后」方向以倾向前为正数，已加上偏移数值。
    - 「左右」方向以倾向右为正数，已加上偏移数值。
* **角度数据校准（UUID: 0x2A02）**
  + **属性**：写
  + **格式**：一个8位整数/布林值
  + **描述**：允许移动应用程序校准躯干倾斜角度。
    - 0＝重置偏移数值为0
    - 1＝把当前躯干倾斜角度设定为偏移数值

**2. 配置服务（UUID: 0x1802）**

* **阈值特征（UUID: 0x2A03）**
  + **属性**：读/写
  + **格式**：四个表示阈值角度的**8位无符号整数**（单位为度，**共四个方向**）
  + **描述**：允许移动应用程序更新用于纠正反馈的阈值角度。阈值角度的最大范围是 0度到90度。当阈值设定后，当前躯干倾斜角度大于阈值时相应的振动器会启动。
    1. 「前」角度大于阈值時左右兩边振动器皆会触发
    2. 「后」角度大于阈值時左右兩边振动器皆会触发
    3. 「左」角度大于阈值時左边振动器会触发，或右边（镜像模式）
    4. 「右」角度大于阈值時右边振动器会触发，或左边（镜像模式）
* **振动器控制特征-自动模式（UUID: 0x2A04）**
  + **属性**：写
  + **格式**：三个8位整数/布林值（**共三个数值，1. 前后/ 2. 左右/ 3. 左右镜像**）
  + **描述**：允许移动应用程序设定振动器的自动模式。振动器在前后、或左右角度超过阈值时自动触发警报，直至角度低于阈值。当「左右」和「左右镜像」同時启动，並且左右角度超过阈值时，在身体另一侧的振动器会发出警报，例如：身体左倾时，右边振动器启动。
* **振动器控制特征-强制模式（UUID: 0x2A05）**
  + **属性**：写
  + **格式**：两个8位整数/布林值（**共两个振动器，1. 左 2. 右**）
  + **描述**：允许移动应用程序设定振动器的强制模式。振动器在强制模式会手动启动警报，直至强制模式取消。此时自动模式无效化。
* **振动器控制特征-振动方式（UUID: 0x2A06）**
  + **属性**：写
  + **格式**：两个8位整数
  + **描述**：允许移动应用程序设定振动器的振动方式。
    - 第一字节：
      * 0x00或0xFF=连续振动
      * 其他＝间歇性振动  
        （根据字元排列可有不同振动方式，如：1100 1100是每隔 200ms 振动 200ms，另外 1111 0011是一下长振动400ms停顿200ms然后一下短振动200ms）  
        （因此1111 1111 和 0000 0000 皆等于连续振动）
    - 第二字节：
      * 0＝启动警报时振动器会一直连续振动，直至警报停止。
      * >0＝在警报启动时会发出一下振动，就会停顿直至时间到或直至下一次触发阈值（停顿时间是该整数的数值，单位为1秒 。最低是0秒即没有停顿，最高是 240秒即4分钟，超过240则会无限期停顿直至下一次触发阈值）

**3. 警报服务（UUID: 0x1803）**

* **警报特征（UUID: 0x2A07）**
  + **属性**：通知
  + **格式**：四个8位整数/布林值（**共四个数值，1. 前/ 2. 后/ 3. 左/ 4. 右**）
  + **描述**：当躯干倾斜角度超过设定阈值时通知移动应用程序。

**数据包格式**

**1. 角度数据包**

* **描述**：包含当前躯干倾斜角度。
* **格式**：
  + 字节 0-3：躯干前后倾斜角度角度（32位浮點數，小端）
  + 字节 4-7：躯干左右倾斜角度角度（32位浮點數，小端）

**2. 角度校准包**

* **描述**：包含允许移动应用程序校准躯干倾斜角度的命令。
* **格式**：
  + 字节 0：校准命令（8位整数/布林值，0 = 重置偏移数值，1 = 设定偏移数值）

**3. 阈值更新数据包**

* **描述**：包含更新后的阈值角度。
* **格式**：
  + 字节 0：前方阈值角度（8位无符号整数，小端）
  + 字节 1：后方阈值角度（8位无符号整数，小端）
  + 字节 2：左方阈值角度（8位无符号整数，小端）
  + 字节 3：右方阈值角度（8位无符号整数，小端）

**4. 振动器控制数据包**

* **描述**：包含控制振动器的命令（自动模式）。
* **格式**：
  + 字节 0：前后振动器控制自动模式（8位整数，0 = 关闭，1 = 打开）
  + 字节 1：左右振动器控制自动模式（8位整数，0 = 关闭，1 = 打开）
  + 字节 2：左右镜像振动器控制自动模式（8位整数，0 = 关闭，1 = 打开）

**5. 振动器控制数据包**

* **描述**：包含控制振动器的命令（强制模式）。
* **格式**：
  + 字节 0：左边振动器控制强制模式（8位整数，0 = 关闭，1 = 打开）
  + 字节 1：右边振动器控制强制模式（8位整数，0 = 关闭，1 = 打开）

**6. 振动器控制数据包**

* **描述**：包含控制振动器的命令（振动方式）。
* **格式**：
  + 字节 0：连续振动 或 设定间歇性振动（8位整数）
  + 字节 1：连续振动 或 设定停顿时间（8位整数）

**7. 警报数据包**

* **描述**：包含警报状态。
* **格式**：
  + 字节 0：向前倾斜超过阈值警报状态（8位整数，0 = 无警报，1 = 超过阈值）
  + 字节 1：向後倾斜超过阈值警报状态（8位整数，0 = 无警报，1 = 超过阈值）
  + 字节 2：向左倾斜超过阈值警报状态（8位整数，0 = 无警报，1 = 超过阈值）
  + 字节 3：向右倾斜超过阈值警报状态（8位整数，0 = 无警报，1 = 超过阈值）

**移动应用功能**

**1. 显示实时角度数据**

* **过程**：订阅角度数据特征的通知以显示实时躯干倾斜角度。

**2. 设置阈值和校准角度**

* **过程**：从移动应用程序发送命令以重置或设置角度偏移数值。
* **过程**：向阈值特征发送写请求以更新阈值角度。

**3. 控制振动器**

* **过程**：从移动应用程序发送命令以启动或停用操作模式和设定振动器的振动方式。
* **过程**：将命令通过振动器控制特征发送到设备。

**4. 接收警报**

* **过程**：设备检测到躯干倾斜角度超过阈值。
* **过程**：通过警报特征将警报发送到移动应用程序。

*这份规范提供了一个全面的指南，用于为躯干姿势矫正设备实现BLE通信，确保设备和移动应用程序之间的无缝交互。*