



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103052153 A

(43) 申请公布日 2013.04.17

(21) 申请号 201210583831.7

(22) 申请日 2012.12.31

(71) 申请人 中国矿业大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路丁 11 号
中国矿业大学(北京)

(72) 发明人 孙继平 李晨鑫

(51) Int. Cl.

H04W 64/00 (2009.01)

E21F 17/18 (2006.01)

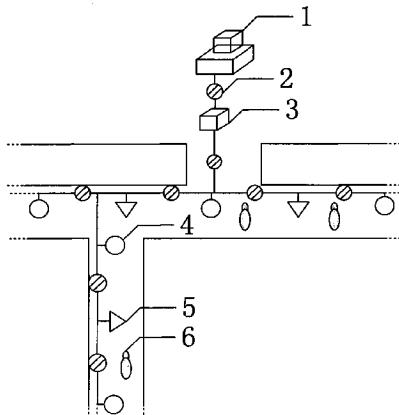
权利要求书 6 页 说明书 16 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统
及定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法，属于矿井监控与通信领域。井下人员定位模块采用 WiFi 综合通信基站 +WiFi 定位分站 +WiFi 人员定位卡的系统结构，利用一路有线信号媒介和两路无线 WiFi 信号媒介测量信号在人员定位卡与通信基站之间、与定位分站之间的传输时间，进行抑制计时误差计算，得到准确的距离值，利用接收信号的定向天线覆盖方向获取人员方向，实现煤矿井下人员位置准确定位。本发明以不增加设备数量和密度为前提，集成于煤矿井下 WiFi 综合通信系统中实现煤矿井下人员准确定位，解决了现有煤矿井下人员定位系统提高人员定位准确性的难题及与通信系统分离管理的问题。



1. 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,包括以下模块:

地面监控调度模块,用于接收通过数据传输处理模块传输的井下人员定位模块的人员位置信息和身份信息,在煤矿地面工作点对井下人员位置进行监控,在出现事故预警或报警时发送调度指令由数据传输处理模块传输至井下人员定位模块,对入井人员进行告警;

数据传输处理模块,用于地面监控调度模块与井下人员定位模块之间数据的处理、传输;

井下人员定位模块,基于 WiFi 通信系统,利用 TOA 方法检测井下工作人员的位置信息,并通过数据传输处理模块与地面监控调度模块进行数据传输,传输人员位置信息和身份信息,接收出现事故预警或报警时的调度指令并进行告警;

所述井下人员定位模块、数据传输处理模块所有设备均为本安防爆设备,防爆型式为矿用隔爆兼本质安全型。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述地面监控调度模块进一步包括监控主机、监控平台软件、调度系统软件;所述数据传输处理模块进一步包括交换机、总线、埋入式光纤传输网络,所述埋入式光纤传输网络作为人员定位信号的有线传输媒介,需施工时埋入巷道侧壁或底板;所述井下人员定位模块的定位精度可达到 2m 以内,进一步包括 WiFi 综合通信基站、WiFi 定位分站、WiFi 人员定位卡。

3. 根据权利要求 2 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述 WiFi 综合通信基站记为 A 类锚节点,集成于煤矿井下 WiFi 通信系统共用,用于煤矿井下 WiFi 通信系统通信功能与所述一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位功能的实现,间隔为一可设置的已知值,记为 2d,单位为 m- 米,进一步包括 WiFi 通信子站与 WiFi 定位子站。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述 WiFi 定位子站,用于接收来自地面监控调度模块的调度指令,向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息和身份信息;进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器、告警器;所述 2 个定向天线,分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖,覆盖距离为已知值 d,并判别人员所在方向,与巷道走向相同的天线覆盖方向记为 D_{pro} ,与巷道走向相反的天线覆盖方向记为 D_{con} ,定位过程中 WiFi 综合通信基站接收到 WiFi 信号的定向天线覆盖方向即为人员所在位置方向;所述 WiFi 信号收发器,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收;所述有线光信号收发器,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收、接收来自地面监控调度模块的调度指令并发送告警指令控制告警器告警、向地面监控调度模块发送人员位置信息和身份信息;所述计时器计为 C_A ,时间分辨率值 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时;所述运算处理器,工作频率高于 150MHz,用于对定向天线覆盖方向数据、计时器计时数据的处理、按照抑制误差计算公式进行人员位置的距离计算以及整合方向数据和距离数据生成人员位置信息,并将所述人员位置信息与人员身份信息整合由所述有线光信号收发器发送;所述存储器,用于运算处理器处理数据存储;所述告警器,用于接收到自有线光信号收发器发出的告警指令时,播放告警音进行告警。

警。

5. 根据权利要求 2 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统, 其特征在于, 所述 WiFi 定位分站用于实现人员定位功能, 记为 B 类锚节点, 设置于 2 个 WiFi 综合通信基站距离的中点位置; 进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器; 所述 2 个定向天线, 分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现 WiFi 信号覆盖, 覆盖距离为已知值 d; 所述 WiFi 信号收发器, 用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收; 所述有线光信号收发器, 用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收; 所述计时器计为 C_B , 时间分辨率 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$, 用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录; 所述运算处理器, 工作频率高于 150MHz, 用于对计时器记录时间数据的处理; 所述存储器, 用于运算处理器处理数据的存储。

6. 根据权利要求 2 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统, 其特征在于, 所述 WiFi 人员定位卡, 用于人员身份信息的存储和人员定位功能的实现, 记为 M 类移动节点, 进一步包括电源、全向天线、WiFi 信号收发器、计时器、运算处理器、存储器, 集成于煤矿井下 WiFi 手机或单独配置; 所述全向天线用于所述 WiFi 人员定位卡的信号传输, 传输距离为已知值 d; 所述 WiFi 信号收发器, 用于所述 WiFi 人员定位卡按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送与接收; 所述计时器计为 C_M , 时间分辨率 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$, 按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录; 所述运算处理器, 工作频率高于 150MHz, 用于对计时器记录时间数据的处理; 所述存储器, 用于人员身份信息的存储以及运算处理器处理数据的存储。

7. 根据权利要求 4 至 6 中任一权利要求所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统, 其特征在于, 所述“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式, 通过所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点之间、与所述 B 类锚节点之间的两路 WiFi 传输媒介, 所述 A 类锚节点之间和所述 B 类锚节点之间一路光纤媒介实现信号传输, 进一步包括以下步骤:

步骤 1. 所述 M 类移动节点每 0.4s 发送 WiFi 送检信号 S_{MA} 和 S_{MB} 分别至所述 A 类锚节点和所述 B 类锚节点, 当 M 类移动节点发出 S_{MA} 和 S_{MB} 时, 本次人员定位过程开始, 所述计时器 C_M 开始计时, 开始记录时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} , 时间值 T_{MA} 的结束时刻与来自 A 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{AM} 到达时刻有关, 时间值 T_{MB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{BM} 到达时刻有关; 所述 T_{MA} 、 T_{MB} 的单位均为 s- 秒;

步骤 2. 所述 B 类锚节点接收到 S_{MB} 时, 由所述计时器 C_B 开始记录 B 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MB} 的时延的时间值 T_{BM} , 发送 S_{BM} 至所述 M 类移动节点, S_{BM} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BM} 的计时结束, 记录时间值 T_{BM} ; 当 M 类移动节点接收到 S_{BM} 时, 所述计时器 C_M 对时间值 T_{MB} 的计时结束, 记录时间值 T_{MB} ; 所述时间值 T_{BM} 单位为 s- 秒;

步骤 3. 所述 A 类锚节点接收到 S_{MA} 时, 由所述计时器 C_A 开始记录 A 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MA} 的时延的时间值 T_{AM} , 同时判断接收到 S_{MA} 的天线的覆盖方向信息为 D_{pro} 或

为 D_{con} 并记录；发送 S_{AM} 至所述 M 类移动节点， S_{AM} 发出时计时器 C_A 对时间值 T_{AM} 的计时结束，记录时间值 T_{AM} ；当所述 M 类移动节点接收到 S_{AM} 时，所述计时器 C_M 对时间值 T_{MA} 计时结束，记录时间值 T_{MA} ；所述 A 类锚节点在发送 S_{AM} 后，发送有线检测信号 S_{AB} 至记录方向上的所述 B 类锚节点，并由所述计时器 C_A 开始记录时间值 T_{AB} ，时间值 T_{AB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点有线应答信号 S_{BA} 到达时刻有关；所述时间值 T_{AM} 与 T_{AB} 的单位均为 s- 秒；计时器 C_M 在对时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} 计时均完成后，结束本人次人员定位过程内的计时；

步骤 4. 所述 B 类锚节点接收 S_{AB} 时，由所述计时器 C_B 开始记录对 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点的 S_{AB} 的时延的时间值 T_{BA} ，发送 S_{BA} 至所述 A 类锚节点， S_{BA} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BA} 的计时结束，记录时间值 T_{BA} ；所述 A 类锚节点接收到 S_{BA} 时，所述计时器 C_A 对时间值 T_{AB} 的计时结束，记录时间值 T_{AB} ；其中所述时间值 T_{AB} 的单位为 s- 秒；所述 B 类锚节点发送有线时间信号 S_{TB} 至 A 类锚节点， S_{TB} 内容为时间值 T_{BM} 、 T_{BA} ；当 A 类锚节点对时间值 T_{AM} 与时间值 T_{AB} 的计时均结束后，计时器 C_A 本人次人员定位过程的计时结束；当 B 类锚节点对时间值 T_{BM} 和时间值 T_{BA} 的计时均结束后，计时器 C_B 本人次人员定位过程的计时结束，同时 B 类锚节点本人次人员过程的工作结束；

步骤 5. 所述 M 类移动节点发送 WiFi 时间信号 S_{TM} 至所述 A 类锚节点， S_{TM} 内容为时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息，M 类移动节点本人次人员定位过程的工作结束；

步骤 6. 所述 A 类锚节点接收到 S_{TB} 和 S_{TM} ， S_{TB} 包含时间值 T_{BM} 、 T_{BA} ， S_{TM} 包含时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息，A 类锚节点计时器 C_A 记录时间值 T_{AM} 、 T_{AB} ；本人次人员定位过程“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式的工作结束。

8. 根据权利要求 7 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统，其特征在于，所述 WiFi 综合通信基站的定位子站，进行人员位置的距离计算，计算公式为：

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \end{cases} \quad (1)$$

其中 d_{MA} 、 d_{MB} 分别表示所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点的距离，d 为已知值，表示 A 类锚节点与 B 类锚节点的距离，单位均为 m- 米，c 为光速， $c = 3 \times 10^8$ m/s。

9. 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法，其特征在于，应用于基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统，所述基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统包括：

地面监控调度模块，用于接收通过数据传输处理模块传输的井下人员定位模块的人员位置信息和身份信息，在煤矿地面工作点对井下人员位置进行监控，在出现事故预警或报警时发送调度指令由数据传输处理模块传输至井下人员定位模块，对入井人员进行告警；

数据传输处理模块，用于地面监控调度模块与井下人员定位模块之间数据的处理、传输；

井下人员定位模块，基于 WiFi 通信系统，通过 TOA 技术检测井下工作人员的位置信息，并通过数据传输处理模块与地面监控调度模块进行通信，传输人员位置信息和身份信息，接收出现事故预警或报警时的调度指令并进行告警；

所述井下人员定位模块、数据传输处理模块所有设备均为本安防爆设备，防爆型式为矿用隔爆兼本质安全型；

所述井下人员定位模块，包括：

WiFi 综合通信基站，记为 A 类锚节点，集成于煤矿井下 WiFi 通信系统共用，用于煤矿井下 WiFi 通信系统通信功能与所述基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位功能的实现，间隔为一可设置的已知值，记为 $2d$ ，单位为 m- 米，进一步包括 WiFi 通信子站与 WiFi 定位子站；WiFi 定位子站接收来自地面监控调度模块的调度指令，向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息，进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器、告警器；所述 2 个定向天线，分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖，覆盖距离为已知值 d ，并判别人员所在方向，与巷道走向相同的天线覆盖方向记为 D_{pro} ，与巷道走向相反的天线覆盖方向记为 D_{con} ，定位过程中 WiFi 综合通信基站接收到 WiFi 信号的定向天线覆盖方向即为人员所在位置方向；所述 WiFi 信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收；所述有线光信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收，接收来自地面监控调度模块的调度指令，向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息和身份信息；所述计时器计为 C_A ，时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$ ，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时；

所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对定向天线覆盖方向数据、计时器计时数据的处理、按照抑制误差计算公式进行人员位置的距离计算以及整合方向数据和距离数据的生成人员位置信息，整合人员位置信息和身份信息并由有线光信号收发器发送；所述存储器，用于运算处理器处理数据存储；所述告警器，用于接收告警音指令并播放告警音进行告警；

WiFi 定位分站，用于实现人员定位功能，记为 B 类锚节点，设置于 2 个 WiFi 综合通信基站距离的中点位置；进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器；所述 2 个定向天线，分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现 WiFi 信号覆盖，覆盖距离为已知值 d ；所述 WiFi 信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收；所述有线光信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收；所述计时器计为 C_B ，时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$ ，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对计时器记录时间数据的处理；所述存储器，用于运算处理器处理数据的存储；

WiFi 人员定位卡，用于人员身份信息的存储和人员定位功能的实现，记为 M 类移动节点，包括电源、全向天线、WiFi 信号收发器、计时器、运算处理器、存储器，可集成于煤矿井下 WiFi 手机，也可单独配置；所述全向天线，用于所述 WiFi 人员定位卡的信号传输，传输距离为已知值 d ；所述 WiFi 信号收发器，用于所述 WiFi 人员定位卡按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送与接收；所述计时器，计为 C_M ，时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$ ，按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对计时器记录时间数据的处理；所述存储器，用于人员身份信息的存储以及运算处理器处理数据的存储；

该定位系统，按照以下步骤进行人员定位：

步骤 A. 所述 M 移动节点、所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点进行“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送、接收及相关的时间值计时，所述 A 类锚节点还需记录其接收来自 M 类移动节点信号的天线的覆盖方向信息；

步骤 B. 所述 A 类锚节点对相关时间值，利用本发明提出的抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的计算公式得出所述 M 类移动节点至 A 类锚节点的距离值 d_{MA} 和 M 类移动节点至所述 B 类锚节点的距离值 d_{MB} ；所述距离值 d_{MA} 、 d_{MB} 的单位均为 m- 米；M 类移动节点即 WiFi 人员定位卡的持卡人员所在位置为该段巷道内，所述步骤 A 所记录的方向上，距离所述 A 类锚节点的距离为 d_{MA} ，距离所述 B 类锚节点的距离为 d_{MB} 的位置；

步骤 C. 所述 A 类锚节点将检测到所述 M 类移动节点的位置信息和身份信息通过所述数据传输处理模块进行处理传输至地面监控调度模块，地面监控调度模块对本次人员位置信息和身份信息进行显示、记录、存储及相关调度管理工作，本次人员定位结束。

10. 根据权利要求 9 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法，其特征在于，所述 M 移动节点、A 类锚节点、B 类锚节点进行信号发送、接收及相关的时间值计时的“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”方式，通过所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点之间、与所述 B 类锚节点之间的两路 WiFi 传输媒介，所述 A 类锚节点之间和所述 B 类锚节点之间一路光纤媒介实现信号传输，进一步包括以下步骤：

步骤 A1. 所述 M 类移动节点每 0.4s 发送 WiFi 送检信号 S_{MA} 和 S_{MB} 分别至所述 A 类锚节点和所述 B 类锚节点，当 M 类移动节点发出 S_{MA} 和 S_{MB} 时，本次人员定位过程开始，所述计时器 C_M 开始计时，开始记录时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} ，时间值 T_{MA} 的结束时刻与来自 A 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{AM} 到达时刻有关，时间值 T_{MB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{BM} 到达时刻有关；所述 T_{MA} 、 T_{MB} 的单位均为 s- 秒；

步骤 A2. 所述 B 类锚节点接收到 S_{MB} 时，由所述计时器 C_B 开始记录 B 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MB} 的时延的时间值 T_{BM} ，发送 S_{BM} 至所述 M 类移动节点， S_{BM} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BM} 的计时结束，记录时间值 T_{BM} ；当 M 类移动节点接收到 S_{BM} 时，所述计时器 C_M 对时间值 T_{MB} 的计时结束，记录时间值 T_{MB} ；所述时间值 T_{BM} 单位为 s- 秒；

步骤 A3. 所述 A 类锚节点接收到 S_{MA} 时，由所述计时器 C_A 开始记录 A 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MA} 的时延的时间值 T_{AM} ，同时判断接收到 S_{MA} 的天线的覆盖方向信息为 D_{pro} 或为 D_{con} 并记录；发送 S_{AM} 至所述 M 类移动节点， S_{AM} 发出时计时器 C_A 对时间值 T_{AM} 的计时结束，记录时间值 T_{AM} ；当所述 M 类移动节点接收到 S_{AM} 时，所述计时器 C_M 对时间值 T_{MA} 计时结束，记录时间值 T_{MA} ；所述 A 类锚节点在发送 S_{AM} 后，发送有线检测信号 S_{AB} 至记录方向上的所述 B 类锚节点，并由所述计时器 C_A 开始记录时间值 T_{AB} ，时间值 T_{AB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点有线应答信号 S_{BA} 到达时刻有关；所述时间值 T_{AM} 与 T_{AB} 的单位均为 s- 秒；计时器 C_M 在对时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} 计时均完成后，结束本次人员定位过程内的计时；

步骤 A4. 所述 B 类锚节点接收 S_{AB} 时，由所述计时器 C_B 开始记录对 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点的 S_{AB} 的时延的时间值 T_{BA} ，发送 S_{BA} 至所述 A 类锚节点， S_{BA} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BA} 的计时结束，记录时间值 T_{BA} ；所述 A 类锚节点接收到 S_{BA} 时，所述计时器 C_A 对时间值 T_{AB} 的计时结束，记录时间值 T_{AB} ；其中所述时间值 T_{AB} 的单位为 s- 秒；所述 B 类锚节点发送有线时间信号 S_{TB} 至 A 类锚节点， S_{TB} 内容为时间值 T_{BM} 、 T_{BA} ；当 A 类锚节点对时间值 T_{AM}

与时间值 T_{AB} 的计时均结束后,计时器 C_A 本人次人员定位过程的计时结束;当 B 类锚节点对时间值 T_{BM} 和时间值 T_{BA} 的计时均结束后,计时器 C_B 本人次人员定位过程的计时结束,同时 B 类锚节点本人次人员过程的工作结束;

步骤 A5. 所述 M 类移动节点发送 WiFi 时间信号 S_{TM} 至所述 A 类锚节点, S_{TM} 内容为时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息, M 类移动节点本人次人员定位过程的工作结束;

步骤 A6. 所述 A 类锚节点接收到 S_{TB} 和 S_{TM} , S_{TB} 包含时间值 T_{BM} 、 T_{BA} , S_{TM} 包含时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息, A 类锚节点计时器 C_A 记录时间值 T_{AM} 、 T_{AB} ;本人次人员定位过程“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式的工作结束。

11. 根据权利要求 10 所述的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法,其特征在于,所述抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的计算公式为:

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \end{cases} \quad (1)$$

其中 d_{MA} 、 d_{MB} 分别表示所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点的距离, d 为已知值, 表示 A 类锚节点与 B 类锚节点的距离, 单位均为 m- 米, c 为光速, $c = 3 \times 10^8$ m/s。

一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法, 具体是应用于矿井监控与通信领域。

背景技术

[0002] 《国家安全生产监督管理总局国家煤矿安全监察局关于建设完善煤矿井下安全避险“六大系统”的通知》(安监总煤装[2010]146号)要求建设完善煤矿井下人员定位系统。发挥井下人员定位系统在定员管理和应急救援工作中的作用。“应优先选择技术先进、性能稳定、定位精度高的产品,确保准确掌握井下人员动态分布情况和采掘工作面人员数量”。

[0003] 目前我国煤矿建设煤矿井下人员定位系统的建设普及情况良好。目前国内采用的系统基本采用有源方式的传输网络结合无线发射器,所采用的矿井人员定位技术主要是区域定位技术和基于接收场强的 RSS(Received Signal Strength)方法。

[0004] 上述系统和方法在实际应用中存在着一定的问题。

[0005] 区域定位技术获取人员位置信息的方式是通过监测站对一定区域内的识别卡进行监测,监测到该区域内有某一 ID 的识别卡时,读取该识别卡信息并将其传输至监控室,其位置信息即被记为该监测站的位置信息,即监测结果为:该 ID 的识别卡所属工作人员出现在该区域内。区域定位技术能够监测某 ID 的识别卡所属工作人员出现在该区域内,但并不能向监控室提供该工作人员在该区域的具体位置,如监测站的监测半径不小于 30m,这就意味着区域定位技术的定位精度不大于 30m,因此,在特殊情况下,如发生事故后的应急救援过程中,无法确定被困人员的精确位置,就会对救援工作产生不利的影响。另一方面,目前所采用的区域定位技术所监测记录的井下人员活动路线,是通过井下人员经过的每个监测点的位置进行连线所得出的,从数学语言而言,目前的井下人员活动路线绘图是离散的,在某种情况下并不能代表井下人员的真实活动路线。此外,如需提高定位精度,需要采用增加监测设备来实现,但是过多增加设备会增大系统负荷和降低系统稳定性。

[0006] 目前我国煤矿采用的精确定位技术主要是基于接收场强的 RSS(Received SignalStrength)方法。利用电磁波传播的信道衰落模型,通过检测收发信号的场强损耗反推出信号传输的距离,根据计算得出相应的人员所在位置。实际当中,电波在巷道中传播有能量损耗,需要根据空间有损信道传输损耗公式进行计算,空间有损信道传输损耗公式为:

$$L_b = L_{bf} + A(\text{dB}) = 32.45 + 20\lg f(\text{MHz}) + 20\lg r(\text{km}) - G_i(\text{dB}) - G_R(\text{dB}) + A(\text{dB}) \quad (1)$$

[0008] 式中:f 为信号频率, r 为传输距离, G_i 、 G_R 分别为发射天线增益和接收天线增益, L_b 为空间有损信号传输信号, L_{bf} 为自由空间传输损耗, A 为巷道的损耗中值 L_b 。

[0009] 但是,煤矿井下具有甲烷等可燃性气体和煤尘,空间狭小且有风门、机车等阻挡体、巷道倾斜、有拐弯和分支、巷道表面粗糙等,传输损耗大,在通信信道中会出现很多不固定、不可预知的损耗因素,巷道损耗中值很难准确地描述巷道无线信道的损耗模型,这是 RSS 方法的一个主要弊端。另一方面,由于传输损耗大,在通信信道中会出现很多不固定、不

可预知的损耗因素,在有机车经过或者其他偶然出现时,机车等物体会造成识别系统之间信号传播的较大损耗,会造成较大的识别误差;在监测站覆盖的远端,甚至会出现漏检的状况。

[0010] 作为人员精确位置定位的另一种技术手段,基于到达时间的 TOA (Time of Arrival) 方法,主要测量信号在发射机和接收机之间的单程传播时间或者往复传播时间,前一种方法需要接收机知道信息发出的准确时间,并且接收机具有非常稳定和准确的时钟;后一种方法不要求发射机和接收机同步,是一种测量时间的方法。TOA 方法不是通过计算无线信号损耗来确定人员位置,而是通过测量信号到达时间来测量人员位置,受环境影响相对小,在航空、电信行业中作为人员精确定位的技术手段被广泛应用,但在煤矿井下的环境复杂,不同于航空、电信行业定位技术的应用环境。

[0011] 目前 WiFi (Wireless Fidelity) 通信系统在煤矿井下得到了广泛应用,通信频率在 2.4GHz,工作频率高,其网络结构采用基站 + 交换机的方式,技术是现在的主流短距离无线通信技术,802.11g 协议的带宽可达 54Mbit/s,抗干扰能力比较强;设备体积小,成本低,适合用于全矿井移动通信系统,符合煤矿井下人员定位技术的发展方向和应用要求。

[0012] 中国专利申请号 200910079144.X,公开日 2009 年 07 月 29 日,公开了一种 TOA 估计方法及装置,该方法包括:根据干扰消除后的 NB 和本地训练序列进行信道估计,并生成信道估计值;根据所述信道估计值进行 TOA 估计,并根据 TOA 估计结果对当前 NB 的同步位置进行调整。在进行 TOA 估计之前,对信号先进行干扰消除的方式,克服在现有的强干扰无线环境中由干扰引起的能量估值的偏差,从而最终影响 TOA 估计的缺陷。能够在强干扰无线环境下能够获得更为准确的能量估值,并且无需对搜索窗的调整方法进行调整。

[0013] 中国专利申请号 200910237602.8,公开日 2010 年 05 月 05 日,公开了一种 TOA 定位的估计方法及基于该估计方法的精确定位方法。该定位方法包括步骤:发射带定位信息的多载波数字电视信号,定位信息包括发射端的二维或三维坐标位置信息和定位数据,定位数据为已知序列;对接收到的多载波数字电视信号进行时域帧同步,从而得到传输时延粗估计值;截取定位数据,利用 TOA 定位估计方法计算得到传输时延细估计值,进而得到接收端与发射端间距离的估计值;求出接收端与多个发射端之间距离的估计值之后,根据距离的估计值及二维或三维坐标位置信息利用定位算法计算得到用户所在位置的二维或三维位置信息及二维或三维速度信息。

[0014] 煤矿井下巷道中,具有甲烷等可燃性气体和煤尘,空间狭小且有风门、机车等阻挡体、巷道倾斜、有拐弯和分支、巷道表面粗糙等,传输损耗大,在通信信道中会出现很多不固定、不可预知的损耗因素,无法有效进行信号能量估值;同时,煤矿井下巷道呈条状或带状分布,巷道走向长度可达数十公里,而宽度与高度仅仅可达数米,因此不可作为二维平面或者三维空间进行分析,因此,应用于地面的上述结合能量估值或者以二维平面或者三维空间为定位环境的 TOA 定位系统和方法不适合直接应用于煤矿井下人员定位。

发明内容

[0015] 本发明提供了一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法,将煤矿井下巷道作为一维通道进行分析,采用 WiFi 综合通信基站+WiFi 定位分站+WiFi 人员定位卡的系统结构,以及双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介的模式,利用一条明确参考距离的有线信

号路径和两条待测距离的无线 WiFi 信号路径,进行抑制计时误差计算,得到准确的人员定位卡与通信基站之间、与定位分站之间的信号传输时间,进而得出相关距离,结合综合通信基站定向天线的接收信号方向获取人员所在方向,实现煤矿井下人员位置精确定位。

[0016] 以下对本发明加以论述。

[0017] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,包括以下模块:

[0018] 地面监控调度模块,用于接收通过数据传输处理模块传输的井下人员定位模块的人员位置信息和身份信息,在煤矿地面工作点对井下人员位置进行监控,在出现事故预警或报警时发送调度指令由数据传输处理模块传输至井下人员定位模块,对入井人员进行告警;

[0019] 数据传输处理模块,用于地面监控调度模块与井下人员定位模块间数据的处理、传输;

[0020] 井下人员定位模块,基于 WiFi 通信系统,利用 TOA 方法检测井下工作人员的位置信息,并通过数据传输处理模块与地面监控调度模块进行数据传输,传输人员位置信息和身份信息,接收出现事故预警或报警时的调度指令并进行告警;

[0021] 所述井下人员定位模块、数据传输处理模块所有设备均为本安防爆设备,防爆型式为矿用隔爆兼本质安全型。

[0022] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述地面监控调度模块进一步包括监控主机、监控平台软件、调度系统软件;所述数据传输处理模块进一步包括交换机、总线、埋入式光纤传输网络,所述埋入式光纤传输网络作为人员定位信号的有线传输媒介,需施工时埋入巷道侧壁或底板;所述井下人员定位模块的定位精度可达到 2m 以内,进一步包括 WiFi 综合通信基站、WiFi 定位分站、WiFi 人员定位卡。

[0023] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述 WiFi 综合通信基站记为 A 类锚节点,集成于煤矿井下 WiFi 通信系统共用,用于煤矿井下 WiFi 通信系统通信功能与所述一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位功能的实现,间隔为一可设置的已知值,记为 2d,单位为 m- 米,进一步包括 WiFi 通信子站与 WiFi 定位子站。

[0024] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,其特征在于,所述 WiFi 定位子站,用于接收来自地面监控调度模块的调度指令,向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息和身份信息;进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器、告警器;所述 2 个定向天线,分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖,覆盖距离为已知值 d,并判别人员所在方向,与巷道走向相同的天线覆盖方向记为 D_{pro} ,与巷道走向相反的天线覆盖方向记为 D_{con} ,定位过程中 WiFi 综合通信基站接收到 WiFi 信号的定向天线覆盖方向即为人员所在位置方向;所述 WiFi 信号收发器,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收;所述有线光信号收发器,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收、接收来自地面监控调度模块的调度指令并发送告警指令控制告警器告警、向地面监控调度模块发送人员位置信息和身份信息;所述计时器计为 C_A ,时间分辨率值 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$,用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时;所述运算处理器,工作频率高于 150MHz,用于对定向天线覆盖方向数据、

计时器计时数据的处理、按照抑制误差计算公式进行人员位置的距离计算以及整合方向数据和距离数据生成人员位置信息，并将所述人员位置信息与人员身份信息整合由所述有线光信号收发器发送；所述存储器，用于运算处理器处理数据存储；所述告警器，用于接收到来自有线光信号收发器发出的告警指令时，播放告警音进行告警。

[0025] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统，其特征在于，所述 WiFi 定位分站用于实现人员定位功能，记为 B 类锚节点，设置于 2 个 WiFi 综合通信基站距离的中点位置；进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器；所述 2 个定向天线，分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现 WiFi 信号覆盖，覆盖距离为已知值 d；所述 WiFi 信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收；所述有线光信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收；所述计时器计为 C_B，时间分辨率 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8}$ s，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对计时器记录时间数据的处理；所述存储器，用于运算处理器处理数据的存储。

[0026] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统，其特征在于，所述 WiFi 人员定位卡，用于人员身份信息的存储和人员定位功能的实现，记为 M 类移动节点，进一步包括电源、全向天线、WiFi 信号收发器、计时器、运算处理器、存储器，集成于煤矿井下 WiFi 手机或单独配置；所述全向天线用于所述 WiFi 人员定位卡的信号传输，传输距离为已知值 d；所述 WiFi 信号收发器，用于所述 WiFi 人员定位卡按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送与接收；所述计时器计为 C_M，时间分辨率 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8}$ s，按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对计时器记录时间数据的处理；所述存储器，用于人员身份信息的存储以及运算处理器处理数据的存储。

[0027] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统，其特征在于，所述“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式，通过所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点之间、与所述 B 类锚节点之间的两路 WiFi 传输媒介，所述 A 类锚节点之间和所述 B 类锚节点之间一路光纤媒介实现信号传输，进一步包括以下步骤：

[0028] 步骤 1. 所述 M 类移动节点每 0.4s 发送 WiFi 送检信号 S_{MA} 和 S_{MB} 分别至所述 A 类锚节点和所述 B 类锚节点，当 M 类移动节点发出 S_{MA} 和 S_{MB} 时，本人次人员定位过程开始，所述计时器 C_M 开始计时，开始记录时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB}，时间值 T_{MA} 的结束时刻与来自 A 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{AM} 到达时刻有关，时间值 T_{MB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{BM} 到达时刻有关；所述 T_{MA}、T_{MB} 的单位均为 s- 秒；

[0029] 步骤 2. 所述 B 类锚节点接收到 S_{MB} 时，由所述计时器 C_B 开始记录 B 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MB} 的时延的时间值 T_{BM}，发送 S_{BM} 至所述 M 类移动节点，S_{BM} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BM} 的计时结束，记录时间值 T_{BM}；当 M 类移动节点接收到 S_{BM} 时，所述计时器 C_M 对时间值 T_{MB} 的计时结束，记录时间值 T_{MB}；所述时间值 T_{BM} 单位为 s- 秒；

[0030] 步骤 3. 所述 A 类锚节点接收到 S_{MA} 时，由所述计时器 C_A 开始记录 A 类锚节点处理

来自 M 类锚节点的 S_{MA} 的时延的时间值 T_{AM} , 同时判断接收到 S_{MA} 的天线的覆盖方向信息为 D_{pro} 或为 D_{con} 并记录; 发送 S_{AM} 至所述 M 类移动节点, S_{AM} 发出时计时器 C_A 对时间值 T_{AM} 的计时结束, 记录时间值 T_{AM} ; 当所述 M 类移动节点接收到 S_{AM} 时, 所述计时器 C_M 对时间值 T_{MA} 计时结束, 记录时间值 T_{MA} ; 所述 A 类锚节点在发送 S_{AM} 后, 发送有线检测信号 S_{AB} 至记录方向上的所述 B 类锚节点, 并由所述计时器 C_A 开始记录时间值 T_{AB} , 时间值 T_{AB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点有线应答信号 S_{BA} 到达时刻有关; 所述时间值 T_{AM} 与 T_{AB} 的单位均为 s- 秒; 计时器 C_M 在对时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} 计时均完成后, 结束本人次人员定位过程内的计时;

[0031] 步骤 4. 所述 B 类锚节点接收 S_{AB} 时, 由所述计时器 C_B 开始记录对 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点的 S_{AB} 的时延的时间值 T_{BA} , 发送 S_{BA} 至所述 A 类锚节点, S_{BA} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BA} 的计时结束, 记录时间值 T_{BA} ; 所述 A 类锚节点接收到 S_{BA} 时, 所述计时器 C_A 对时间值 T_{AB} 的计时结束, 记录时间值 T_{AB} ; 其中所述时间值 T_{AB} 的单位为 s- 秒; 所述 B 类锚节点发送有线时间信号 S_{TB} 至 A 类锚节点, S_{TB} 内容为时间值 T_{BM} 、 T_{BA} ; 当 A 类锚节点对时间值 T_{AM} 与时间值 T_{AB} 的计时均结束后, 计时器 C_A 本人次人员定位过程的计时结束; 当 B 类锚节点对时间值 T_{BM} 和时间值 T_{BA} 的计时均结束后, 计时器 C_B 本人次人员定位过程的计时结束, 同时 B 类锚节点本人次人员过程的工作结束;

[0032] 步骤 5. 所述 M 类移动节点发送 WiFi 时间信号 S_{TM} 至所述 A 类锚节点, S_{TM} 内容为时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息, M 类移动节点本人次人员定位过程的工作结束;

[0033] 步骤 6. 所述 A 类锚节点接收到 S_{TB} 和 S_{TM} , S_{TB} 包含时间值 T_{BM} 、 T_{BA} , S_{TM} 包含时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息, A 类锚节点计时器 C_A 记录时间值 T_{AM} 、 T_{AB} ; 本人次人员定位过程“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式的工作结束。

[0034] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统, 其特征在于, 所述 WiFi 综合通信基站的定位子站, 进行人员位置的距离计算, 计算公式为:

[0035]

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \end{cases} \quad (2)$$

[0036] 其中 d_{MA} 、 d_{MB} 分别表示所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点的距离, d 为已知值, 表示 A 类锚节点与 B 类锚节点的距离, 单位均为 m- 米, c 为光速, $c = 3 \times 10^8$ m/s。

[0037] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法, 其特征在于, 应用于基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统, 所述基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统包括:

[0038] 地面监控调度模块, 用于接收通过数据传输处理模块传输的井下人员定位模块的人员位置信息和身份信息, 在煤矿地面工作点对井下人员位置进行监控, 在出现事故预警或报警时发送调度指令由数据传输处理模块传输至井下人员定位模块, 对入井人员进行告警;

[0039] 数据传输处理模块, 用于地面监控调度模块与井下人员定位模块之间数据的处理、传输;

[0040] 井下人员定位模块, 基于 WiFi 通信系统, 通过 TOA 技术检测井下工作人员的位置

信息，并通过数据传输处理模块与地面监控调度模块进行通信，传输人员位置信息和身份信息，接收出现事故预警或报警时的调度指令并进行告警；

[0041] 所述井下人员定位模块、数据传输处理模块所有设备均为本安防爆设备，防爆型式为矿用隔爆兼本质安全型；

[0042] 所述井下人员定位模块，包括：

[0043] WiFi 综合通信基站，记为 A 类锚节点，集成于煤矿井下 WiFi 通信系统共用，用于煤矿井下 WiFi 通信系统通信功能与所述基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位功能的实现，间隔为一可设置的已知值，记为 $2d$ ，单位为 m- 米，进一步包括 WiFi 通信子站与 WiFi 定位子站；WiFi 定位子站接收来自地面监控调度模块的调度指令，向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息，进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器、告警器；所述 2 个定向天线，分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖，覆盖距离为已知值 d ，并判别人员所在方向，与巷道走向相同的天线覆盖方向记为 D_{pro} ，与巷道走向相反的天线覆盖方向记为 D_{con} ，定位过程中 WiFi 综合通信基站接收到 WiFi 信号的定向天线覆盖方向即为人员所在位置方向；所述 WiFi 信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收；所述有线光信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收，接收来自地面监控调度模块的调度指令，向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息和身份信息；所述计时器计为 C_A ，时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$ ，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对定向天线覆盖方向数据、计时器计时数据的处理、按照抑制误差计算公式进行人员位置的距离计算以及整合方向数据和距离数据的生成人员位置信息，整合人员位置信息和身份信息并由有线光信号收发器发送；所述存储器，用于运算处理器处理数据存储；所述告警器，用于接收告警音指令并播放告警音进行告警；

[0044] WiFi 定位分站，用于实现人员定位功能，记为 B 类锚节点，设置于 2 个 WiFi 综合通信基站距离的中点位置；进一步包括电源、2 个定向天线、WiFi 信号收发器、有线光信号收发器、计时器、运算处理器、存储器；所述 2 个定向天线，分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现 WiFi 信号覆盖，覆盖距离为已知值 d ；所述 WiFi 信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收；所述有线光信号收发器，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收；所述计时器计为 C_B ，时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$ ，用于按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录；所述运算处理器，工作频率高于 150MHz，用于对计时器记录时间数据的处理；所述存储器，用于运算处理器处理数据的存储；

[0045] WiFi 人员定位卡，用于人员身份信息的存储和人员定位功能的实现，记为 M 类移动节点，包括电源、全向天线、WiFi 信号收发器、计时器、运算处理器、存储器，可集成于煤矿井下 WiFi 手机，也可单独配置；所述全向天线，用于所述 WiFi 人员定位卡的信号传输，传输

距离为已知值 d ;所述 WiFi 信号收发器,用于所述 WiFi 人员定位卡按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送与接收 ;所述计时器,计为 C_M ,时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$,按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和记录 ;所述运算处理器,工作频率高于 150MHz,用于对计时器记录时间数据的处理 ;所述存储器,用于人员身份信息的存储以及运算处理器处理数据的存储 ;

[0046] 该定位系统,按照以下步骤进行人员定位 :

[0047] 步骤 A. 所述 M 移动节点、所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点进行“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行信号发送、接收及相关的时间值计时,所述 A 类锚节点还需记录其接收来自 M 类移动节点信号的天线的覆盖方向信息 ;

[0048] 步骤 B. 所述 A 类锚节点对相关时间值,利用本发明提出的抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的计算公式得出所述 M 类移动节点至 A 类锚节点的距离值 d_{MA} 和 M 类移动节点至所述 B 类锚节点的距离值 d_{MB} ;所述距离值 d_{MA} 、 d_{MB} 的单位均为 m- 米 ;M 类移动节点即 WiFi 人员定位卡的持卡人员所在位置为该段巷道内,所述步骤 A 所记录的方向上,距离所述 A 类锚节点的距离为 d_{MA} ,距离所述 B 类锚节点的距离为 d_{MB} 的位置 ;

[0049] 步骤 C. 所述 A 类锚节点将检测到所述 M 类移动节点的位置信息和身份信息通过所述数据传输处理模块进行处理传输至地面监控调度模块,地面监控调度模块对本人次人员位置信息和身份信息进行显示、记录、存储及相关调度管理工作,本人次人员定位结束。

[0050] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法,其特征在于,所述 M 移动节点、A 类锚节点、B 类锚节点进行信号发送、接收及相关的时间值计时的“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”方式,通过所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点之间、与所述 B 类锚节点之间的两路 WiFi 传输媒介,所述 A 类锚节点之间和所述 B 类锚节点之间一路光纤媒介实现信号传输,进一步包括以下步骤 :

[0051] 步骤 A1. 所述 M 类移动节点每 0.4s 发送 WiFi 送检信号 S_{MA} 和 S_{MB} 分别至所述 A 类锚节点和所述 B 类锚节点,当 M 类移动节点发出 S_{MA} 和 S_{MB} 时,本人次人员定位过程开始,所述计时器 C_M 开始计时,开始记录时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} ,时间值 T_{MA} 的结束时刻与来自 A 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{AM} 到达时刻有关,时间值 T_{MB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{BM} 到达时刻有关 ;所述 T_{MA} 、 T_{MB} 的单位均为 s- 秒 ;

[0052] 步骤 A2. 所述 B 类锚节点接收到 S_{MB} 时,由所述计时器 C_B 开始记录 B 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MB} 的时延的时间值 T_{BM} ,发送 S_{BM} 至所述 M 类移动节点, S_{BM} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BM} 的计时结束,记录时间值 T_{BM} ;当 M 类移动节点接收到 S_{BM} 时,所述计时器 C_M 对时间值 T_{MB} 的计时结束,记录时间值 T_{MB} ;所述时间值 T_{BM} 单位为 s- 秒 ;

[0053] 步骤 A3. 所述 A 类锚节点接收到 S_{MA} 时,由所述计时器 C_A 开始记录 A 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MA} 的时延的时间值 T_{AM} ,同时判断接收到 S_{MA} 的天线的覆盖方向信息为 D_{pro} 或为 D_{con} 并记录 ;发送 S_{AM} 至所述 M 类移动节点, S_{AM} 发出时计时器 C_A 对时间值 T_{AM} 的计时结束,记录时间值 T_{AM} ;当所述 M 类移动节点接收到 S_{AM} 时,所述计时器 C_M 对时间值 T_{MA} 计时结束,记录时间值 T_{MA} ;所述 A 类锚节点在发送 S_{AM} 后,发送有线检测信号 S_{AB} 至记录方向上的所述 B 类锚节点,并由所述计时器 C_A 开始记录时间值 T_{AB} ,时间值 T_{AB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点有线应答信号 S_{BA} 到达时刻有关 ;所述时间值 T_{AM} 与 T_{AB} 的单位均为 s- 秒 ;计时器

C_M 在对时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} 计时均完成后, 结束本人次人员定位过程内的计时;

[0054] 步骤 A4. 所述 B 类锚节点接收 S_{AB} 时, 由所述计时器 C_B 开始记录对 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点的 S_{AB} 的时延的时间值 T_{BA} , 发送 S_{BA} 至所述 A 类锚节点, S_{BA} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BA} 的计时结束, 记录时间值 T_{BA} ; 所述 A 类锚节点接收到 S_{BA} 时, 所述计时器 C_A 对时间值 T_{AB} 的计时结束, 记录时间值 T_{AB} ; 其中所述时间值 T_{AB} 的单位为 s- 秒; 所述 B 类锚节点发送有线时间信号 S_{TB} 至 A 类锚节点, S_{TB} 内容为时间值 T_{BM}, T_{BA} ; 当 A 类锚节点对时间值 T_{AM} 与时间值 T_{AB} 的计时均结束后, 计时器 C_A 本人次人员定位过程的计时结束; 当 B 类锚节点对时间值 T_{BM} 和时间值 T_{BA} 的计时均结束后, 计时器 C_B 本人次人员定位过程的计时结束, 同时 B 类锚节点本人次人员过程的工作结束;

[0055] 步骤 A5. 所述 M 类移动节点发送 WiFi 时间信号 S_{TM} 至所述 A 类锚节点, S_{TM} 内容为时间值 T_{MA}, T_{MB} 以及人员身份信息, M 类移动节点本人次人员定位过程的工作结束;

[0056] 步骤 A6. 所述 A 类锚节点接收到 S_{TB} 和 S_{TM} , S_{TB} 包含时间值 T_{BM}, T_{BA} , S_{TM} 包含时间值 T_{MA}, T_{MB} 以及人员身份信息, A 类锚节点计时器 C_A 记录时间值 T_{AM}, T_{AB} ; 本人次人员定位过程“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式的工作结束。

[0057] 一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位方法, 其特征在于, 所述抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的计算公式为:

[0058]

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \end{cases} \quad (2)$$

[0059] 其中 d_{MA} 、 d_{MB} 分别表示所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点的距离, d 为已知值, 表示 A 类锚节点与 B 类锚节点的距离, 单位均为 m- 米, c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

[0060] 本发明的优点在于:

[0061] (1) 本发明提出了一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法, 不需要以增加设备、加大设备密度为前提, 实现煤矿井下人员精确定位, 定位精度 $A_{cy} \leq 2\text{m}$, A_{cy} 表示定位精度, 单位为 m, 需要说明的是, 定位精度的实现可以依照本发明提出的: 应用时间分辨率在 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} \text{s}$ 范围内更加精确的计时器以及频率高于 150MHz 的处理器, 并在定位时间间隔 $T_t \leq 0.4\text{s}$ 范围内缩短检测时间来实现, 其约束关系关系为 $\tau \leq A_{cy}/c$, c 为光速, $c = 3 \times 10^8 (\text{m/s})$;

[0062] (2) 本发明提出一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法, 利用“WiFi 综合通信基站 + WiFi 定位分站 + WiFi 人员定位卡”的系统结构, 利用每个基站面向巷道两个走向分别设置定向天线的方式获取人员所在位置的方向信息; 利用信号发送和接受两端处理过程时间相减的计算方法, 避免了采用时间同步方式实现到达时间检测技术存在的设备要求高、实现难度大的问题, 避免了由于煤矿巷道绝对长度仅为 10 公里以内, 无线信号在巷道内传播时间极短造成的设备要求高的问题;

[0063] (3) 本发明提出一种 TOA 抑制误差方法, 利用“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”的信号传输模式, 利用已知有线信道距离值, 建立方程组, 进行消元计算, 有效抑制计时设备

频率漂移所造成的计时误差为定位带来的误差,在定位精度为 2m 的情况下,该影响因素对定位精度的影响可降低到 ±0.02m 以内;

[0064] (4) 本发明提出的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,集成在煤矿井下 WiFi 综合通信系统中,有效的改善矿井通信系统与定位系统采用不同系统的管理不统一的问题,有效的解决了由于采用诸如 RFID、Zigbee 等其他 2.4G ISM 频段信号进行人员定位对矿井无线通信系统造成同频干扰的问题,对于矿井统一无线接口和无线平台、促进一体化综合监控与通信平台的建立、发展煤矿物联网具有重要意义。

附图说明

- [0065] 图 1 为基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统示意图;
- [0066] 图 2 为基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位检测示意图;
- [0067] 图 3 为 WiFi 综合通信基站定位子站设备结构图;
- [0068] 图 4 为 WiFi 定位分站设备结构图;
- [0069] 图 5 为 WiFi 人员定位卡设备结构图;
- [0070] 图 6 为基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统定位方法流程图;
- [0071] 图 7 为“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”方式信号收发及计时模式示意图;
- [0072] 图 8 为基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及方法误差对比测试结果;
- [0073] 图中,1、地面监控调度设备;2、埋入式光纤传输网络;3. 本安防爆交换机;4、WiFi 综合通信基站;5、WiFi 定位分站;6、井下人员并 WiFi 人员定位卡;7、定向天线;8、计时器;9、运算处理器;10、存储器;11、电源;12、有线光信号收发器;13、WiFi 信号收发器;14、告警器;15、全向天线。

具体实施方式

[0074] 下列实施实例将进一步说明本发明,实施实例不应被视为限制本发明的范围。下面结合附图对本发明的工作方式做详细说明。

[0075] 如图 1 所示,本发明基于 TOA(Time of Arrival) 的煤矿井下 WiFi(Wireless Fidelity) 人员定位系统示意图,包括 1、地面监控调度设备;2、埋入式光纤传输网络;3. 本安防爆交换机;4、WiFi 综合通信基站;5、WiFi 定位分站;6、井下人员并 WiFi 人员定位卡。

[0076] 本发明的一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统,除地面监控调度模块以外,其他所有设备均为本安防爆设备,防爆型式为矿用隔爆兼本质安全型。

[0077] 地面监控调度设备 1 包括计算机、人员定位客户端软件、矿井人员作业管理系统软件等,用于接收由数据传输处理模块发送的井下人员定位模块人员位置信息和身份信息,在煤矿地面工作点日常对井下人员位置进行监控,在特殊情况下发送地面调度指令由数据处理模块传输至井下人员定位模块,对入井人员进行调度、告警、指挥、救援协助等工作等。

[0078] 埋入式光纤传输网络 2,需要对光纤传输网络根据该矿井地压情况选择埋入巷道底板或侧壁进行,以保证发生事故后的网络及系统可靠性。

[0079] 本安防爆交换机 3,采用本安防爆型交换机对数据进行处理。

[0080] WiFi 综合通信基站 4,记为 A 类锚节点,进一步包括 WiFi 通信设备与 WiFi 定位设

备,分别实现矿井通信与矿井人员定位功能,所述 WiFi 综合通信基站集成于煤矿井下 WiFi 通信系统。

[0081] WiFi 综合通信基站 4 设置如图 2 所示,所述 WiFi 综合通信基站即 A 类锚节点之间的间隔为一可设置的已知值,记为 $2d$,例如,设置系统时, WiFi 综合通信基站的间隔可设置为 800m;

[0082] WiFi 综合通信基站定位子站设备如图 3 所示,包括:7、定向天线;8、计时器;9、运算处理器;10、存储器;11、电源;12、有线光信号收发器;13、WiFi 信号收发器;14、告警器。定向天线 7,分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖,覆盖距离为已知值 d ,例如 400m,并判别人员所在方向,与巷道走向相同的天线覆盖方向记为 D_{pro} ,与巷道走向相反的天线覆盖方向记为 D_{con} ,定位过程中 WiFi 信号被 WiFi 综合通信基站其中一个定向天线接收到,该定向天线的定向覆盖方向即为人员所在位置方向;计时器 8,记为计时器 C_A ,应采用高分辨率智能计时器,其时间分辨率 τ 需要满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$,按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和时间记录,如采用泰克公司 FCA3000 计时器,分辨率为 100pd 即 $10^{-10} s$ 并可为用户提供自动测量、分析多个仪器上的数据、捕获和保存测量结果、并创建报告等功能;运算处理器 9,工作频率高于 150MHz,用于对定向天线覆盖方向数据、计时器 8 计时数据的处理、按照抑制误差计算公式进行人员位置的距离计算以及方向数据和距离数据的整合生成人员位置信息,进行人员位置信息和身份信息的整合并由有线光信号收发器 12 发送;存储器 10,用于运算处理器 9 处理数据存储;电源 11,对 WiFi 定位设备完成供电,满足井下设备交流电源的要求:额定电压:127V/380V/660V/1140V,允许偏差:其他井下产品:-25%~+10%;谐波:不大于 10%;频率:50Hz,允许偏差 ±5%;有线光信号收发器 12,按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收,接收来自地面监控调度模块的调度指令,向地面监控调度模块发送定位人员位置信息和身份信息;WiFi 信号收发器 13,按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收;告警器 14,用于接收到来自有线光信号收发器发出的告警指令时,播放告警音进行告警。

[0083] WiFi 定位分站 5,记为 B 类锚节点,用于实现矿井人员定位功能。

[0084] WiFi 定位分站 5 设置如图 2 所示,设置于 2 个 WiFi 综合通信基站距离的中点位置,即 WiFi 定位分站 5 距离临近的两个 WiFi 综合通信基站 4 的距离均为已知值 d ,例如 400m。

[0085] WiFi 定位分站设备结构如图 4 所示,包括:7、定向天线;8、计时器;9、运算处理器;10、存储器;11、电源;12、有线光信号收发器;13、WiFi 信号收发器。定向天线 7,分别向巷道的两个走向发送和接收 WiFi 信号实现信号覆盖,覆盖距离为已知值 d ,例如取 400m;计时器 8,记为计时器 C_B ,应采用高分辨率智能计时器,其时间分辨率 τ 需要满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8} s$,按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和时间记录,例如采用泰克公司 FCA3000 计时器,分辨率为 100pd 即 $10^{-10} s$ 并可为用户提供自动测量、分析多个仪器上的数据、捕获和保存测量结果、并创建报告等功能;运算处理器 9,工作频率高于 150MHz,用于对计时器 8 计时数据的处理;存储器 10,用于运算处理器 9 处理数据存储;电源 11,对 WiFi 定位分站完成供电,满足井下设备交流电源的要求:额定电压:

127V/380V/660V/1140V, 允许偏差 : 其他井下产品 : -25%~+10%; 谐波 : 不大于 10%; 频率 : 50Hz, 允许偏差 ±5%; 有线光信号收发器 12, 按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行光信号的发送和接收, 接收来自地面监控调度模块的调度指令并发送告警指令控制告警器进行告警, 向地面监控调度模块发送定位人员的位置信息; WiFi 信号收发器 13, 按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收。

[0086] 井下人员并 WiFi 人员定位卡 6, 由井下人员携带人员定位卡 6, 记为 M 类移动节点, 所述人员定位卡可集成于煤矿井下 WiFi 手机, 也可单独配置。

[0087] WiFi 人员定位卡设备结构如图 5 所示, 包括 : 8、计时器 ; 9、运算处理器 ; 10、存储器 ; 11、电源 ; 13、WiFi 信号收发器 ; 15、全向天线。计时器 8, 记为计时器 C_M, 应采用高分辨率智能计时器, 其时间分辨率 τ 需要满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8}s$, 按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行计时和时间记录, 例如采用泰克公司 FCA3000 计时器, 分辨率为 100ps 即 $10^{-10}s$ 并可为用户提供自动测量、分析多个仪器上的数据、捕获和保存测量结果、并创建报告等功能; 运算处理器 9, 工作频率高于 150MHz, 用于对计时器 8 计时数据的处理; 存储器 10, 用于运算处理器 9 处理数据存储和人员身份信息的存储; 电源 11, 对 WiFi 人员定位卡完成供电, 采用电池, 不可更换的电池寿命应不小于 2 年; 可更换的电池寿命应不小于 6 个月; WiFi 信号收发器 13, 按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式进行 WiFi 信号的发送和接收; 全向天线 15, 用于发送和接收 WiFi 信号, 传输距离已知值 d, 例如取 400m。

[0088] 定向天线 7, 其布置如图 2 所示, 在所述 WiFi 综合通信基站 4, WiFi 定位分站 5, 井下人员并 WiFi 人员定位卡 6 的说明中已进行具体阐述。

[0089] 如图 6 所示, 系统工作基本流程如下 : WiFi 人员定位卡每隔 0.4s 主动向 WiFi 综合通信基站和 WiFi 定位分站发送 WiFi 送检信号, 三者按照“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”方式进行信号发送、接收及相关的时间值计时, WiFi 综合通信基站同时判断其接收来自 WiFi 人员定位卡信号的天线的覆盖方向信息; 完成上述步骤后 WiFi 综合通信基站将记录到本次次定位人员方向信息即其接收来自 WiFi 人员定位卡信号的天线的覆盖方向信息, 以及接收来自 WiFi 定位分站和 WiFi 人员定位卡的时间信号及其所包含的信号收发处理收发时间值; WiFi 综合通信基站按照抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的计算公式进行距离计算, 得出被测 WiFi 人员定位卡至 WiFi 综合通信基站的距离值和至 WiFi 定位分站的距离值, 结合记录的方向信息, 确定被测人员在该段巷道内的位置; WiFi 综合通信基站将检测到 WiFi 人员定位卡的位置信息及存储的身份信息通过数据传输处理模块进行处理传输, 发送到地面监控调度模块; 地面监控调度模块对本次次人员位置信息和身份信息进行显示、记录、存储及相关调度管理, 完成本次次人员定位。

[0090] 需要补充说明的是, WiFi 人员定位卡每隔 0.4s 发出信号, 是因为, 所述计时器 C_A、计时器 C_B、计时器 C_M 的时间分辨率 τ 满足 $\tau \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8}s$, 那么系统能分辨的定位精度即为

$$A_{cy} \leq \frac{2}{3} \times 10^{-8}s \times 3 \times 10^8 m/s = 2m, \text{ 即系统定位精度 } A_{cy} \leq 2m, \text{ 而中华人民共和国安全生产行业标准 AQ6210-2007 《煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件》规定, “最大位移速度不}$$

得小于 5m/s”,即设计系统时考虑井下人员最大位移速度的最小值为 5m/s,当 WiFi 人员定位卡发送信号的时间间隔为 0.4s,在考虑最大位移速度的情况下,井下人员在该段时间内位移为 $0.4s \times 5m/s = 2m$,可以满足定位精度 $A_{cy} \leq 2m$ 的条件,不会影响系统的性能。

[0091] 如图 7 所示,“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”方式信号收发及计时方法示意图,双路无线 WiFi 信道指井下人员并 WiFi 人员定位卡 6 即所述 M 类移动节点与 WiFi 综合通信基站即 A 类锚节点之间、井下人员并 WiFi 人员定位卡 6 即所述 M 类移动节点与 WiFi 定位分站即 B 类锚节点之间进行 WiFi 信号传递的两个无线信号传输媒介,以及 WiFi 综合通信基站即 A 类锚节点与 WiFi 定位分站即 B 类锚节点进行有限光纤信号传输媒介,其具体的信号传输、相关时间值计时过程为:

[0092] 步骤 1. 所述 M 类移动节点每 0.4s 发送 WiFi 送检信号 S_{MA} 和 S_{MB} 分别至所述 A 类锚节点和所述 B 类锚节点,当 M 类移动节点发出 S_{MA} 和 S_{MB} 时,本次人员定位过程开始,所述计时器 C_M 开始计时,开始记录时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} ,时间值 T_{MA} 的结束时刻与来自 A 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{AM} 到达时刻有关,时间值 T_{MB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点的 WiFi 应答信号 S_{BM} 到达时刻有关;所述 T_{MA} 、 T_{MB} 的单位均为 s- 秒;

[0093] 步骤 2. 所述 B 类锚节点接收到 S_{MB} 时,由所述计时器 C_B 开始记录 B 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MB} 的时延的时间值 T_{BM} ,发送 S_{BM} 至所述 M 类移动节点, S_{BM} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BM} 的计时结束,记录时间值 T_{BM} ;当 M 类移动节点接收到 S_{BM} 时,所述计时器 C_M 对时间值 T_{MB} 的计时结束,记录时间值 T_{MB} ;所述时间值 T_{BM} 单位为 s- 秒;

[0094] 步骤 3. 所述 A 类锚节点接收到 S_{MA} 时,由所述计时器 C_A 开始记录 A 类锚节点处理来自 M 类锚节点的 S_{MA} 的时延的时间值 T_{AM} ,同时判断接收到 S_{MA} 的天线的覆盖方向信息为 D_{pro} 或为 D_{con} 并记录;发送 S_{AM} 至所述 M 类移动节点, S_{AM} 发出时计时器 C_A 对时间值 T_{AM} 的计时结束,记录时间值 T_{AM} ;当所述 M 类移动节点接收到 S_{AM} 时,所述计时器 C_M 对时间值 T_{MA} 计时结束,记录时间值 T_{MA} ;所述 A 类锚节点在发送 S_{AM} 后,发送有线检测信号 S_{AB} 至记录方向上的所述 B 类锚节点,并由所述计时器 C_A 开始记录时间值 T_{AB} ,时间值 T_{AB} 的结束时刻与来自 B 类锚节点有线应答信号 S_{BA} 到达时刻有关;所述时间值 T_{AM} 与 T_{AB} 的单位均为 s- 秒;计时器 C_M 在对时间值 T_{MA} 和时间值 T_{MB} 计时均完成后,结束本次人员定位过程内的计时;

[0095] 步骤 4. 所述 B 类锚节点接收 S_{AB} 时,由所述计时器 C_B 开始记录对 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点的 S_{AB} 的时延的时间值 T_{BA} ,发送 S_{BA} 至所述 A 类锚节点, S_{BA} 发出时所述计时器 C_B 对时间值 T_{BA} 的计时结束,记录时间值 T_{BA} ;所述 A 类锚节点接收到 S_{BA} 时,所述计时器 C_A 对时间值 T_{AB} 的计时结束,记录时间值 T_{AB} ;其中所述时间值 T_{AB} 的单位为 s- 秒;所述 B 类锚节点发送有线时间信号 S_{TB} 至 A 类锚节点, S_{TB} 内容为时间值 T_{BM} 、 T_{BA} ;当 A 类锚节点对时间值 T_{AM} 与时间值 T_{AB} 的计时均结束后,计时器 C_A 本次人员定位过程的计时结束;当 B 类锚节点对时间值 T_{BM} 和时间值 T_{BA} 的计时均结束后,计时器 C_B 本次人员定位过程的计时结束,同时 B 类锚节点本次人员过程的工作结束;

[0096] 步骤 5. 所述 M 类移动节点发送 WiFi 时间信号 S_{TM} 至所述 A 类锚节点, S_{TM} 内容为时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息,M 类移动节点本次人员定位过程的工作结束;

[0097] 步骤 6. 所述 A 类锚节点接收到 S_{TB} 和 S_{TM} , S_{TB} 包含时间值 T_{BM} 、 T_{BA} , S_{TM} 包含时间值 T_{MA} 、 T_{MB} 以及人员身份信息,A 类锚节点计时器 C_A 记录时间值 T_{AM} 、 T_{AB} ;本次人员定位过程“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”信号收发及计时模式的工作结束。

[0098] 如图 8 所示,基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及方法误差对比测试结果;其中, a 为测单程信号传播时间的测距方法测试误差分布, b 为测往返信号传播时间的测距方法测试误差分布, c 为本发明抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的测试误差分布, d 为发明系统及方法应用于宽 3m、高 3m 的巷道环境误差测试结果分布, e 为本发明系统及方法综合误差测试结果分布。

[0099] 测单程信号传播时间的测距方法误差来自于系统中设备之间时间不同步即设备之间存在同步时延,假定系统设备之间的同步时延在 $1 \mu s$ 以内,1000 次随机测试结果如图 8a 显示,误差分布区间为 $[-299.8114m, +299.3885m]$,此误差对于煤矿井下定位而言是不可接受的;测往返信号传播时间的测距方法误差来自于计时设备的频率偏移造成的计时误差,其原因为计时器晶体振荡器精确时钟频率 f ,计时器晶体振荡器频率偏移 Δf ,其单位均为 Hz- 赫兹,在一个计时时段 T 内计时器的固有计时误差 $\Delta t = \frac{\Delta f}{f} \times T$,在 IEEE802.11 规

定时钟频率偏移 $[-25\text{ppm}, +25\text{ppm}]$,假定设备对信号进行处理的时延在 1ms 内,1000 次随机测试结果如图 8b 显示,误差分布区间为 $[-12.2182m, +13.0717m]$,会对精度产生很大影响,而且根据 BCM8000WiFi 模块的实际处理过程,时延会比 1ms 更长且不固定,会造成更大的误差;

[0100] 本发明所述的抑制 TOA 测距误差的距离计算方法,计算公式为:

[0101]

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}\right) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}}\right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}\right) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}}\right) \end{cases} \quad (2)$$

[0102] 其中 d_{MA} 、 d_{MB} 分别表示所述 M 类移动节点与所述 A 类锚节点、所述 B 类锚节点的距离, d 为已知值,表示 A 类锚节点与 B 类锚节点的距离,单位均为 m- 米, c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$;

[0103] 包括以下内容:

[0104] 对造成误差的物理量的说明:

[0105] 计时器晶体振荡器精确时钟频率 f ,计时器晶体振荡器频率偏移 Δf ,其单位均为 Hz- 赫兹,在一个计时时段 T 内计时器的固有计时误差 $\Delta t = \frac{\Delta f}{f} \times T$,其中 T 与 ΔT 单位均为 m- 秒,计时器固有误差系数为 e , $e = \frac{\Delta f}{f}$,那么 $\Delta T = e \times T$;802.11 标准规定设备的时钟频率偏移容限为 $\pm 25\text{ppm}$,其中 $1\text{ppm} = 1 \times 10^{-6}$;需要说明的是,频率偏移造成的固有计时误差在设备使用中会继续发生变化,导致频率偏移量的继续改变;

[0106] 所述抑制 TOA 测距误差的距离计算方法的具体步骤:

[0107] 步骤 B1. 所述时间值 T_{AB} 及 T_{BA} ,其内容分别为:

$$T_{AB} = 2 \times \frac{d}{c} + T_{BA}^* + e^A \times T_{AB} \quad (3)$$

$$T_{BA} = T_{BA}^* + e^B \times T_{BA} \quad (4)$$

[0110] 其中, T_{BA}^* 表示 B 类锚节点处理来自 A 类锚节点有线检测信号 S_{AB} 的净时延, e^A 表示计时器 C_A 的固有误差系数, e^B 表示计时器 C_B 的固有误差系数;

[0111] 因此, (3) 式减去 (4) 式建立一个方程:

$$[0112] T_{AB} - T_{BA} = 2 \times \frac{d}{c} + e^A T_{AB} - e^B T_{BA} \quad (5)$$

[0113] 由于:

$$[0114] e^A (T_{AB} - T_{BA}) \approx e^A \times 2 \times \frac{d}{c} \leq 25 \times 10^{-6} \times 2 \times \frac{d}{c} \ll 2 \times \frac{d}{c} \approx (T_{AB} - T_{BA}) \quad (6)$$

[0115] 则有:

$$[0116] T_{AB} - T_{BA} \rightarrow 2 \times \frac{d}{c} + e^A \times T_{AB} - e^B \times T_{BA} - e^A \times (T_{AB} - T_{BA}) \quad (7)$$

[0117] 即:

$$[0118] T_{AB} - T_{BA} \rightarrow 2 \times \frac{d}{c} + e^A \times T_{BA} - e^B \times T_{BA} \quad (8)$$

[0119] (5) 式可化为:

$$[0120] T_{AB} - T_{BA} = 2 \times \frac{d}{c} + (e^A - e^B) \times T_{BA} \quad (9)$$

[0121] 步骤 B2. 所述时间值 T_{MA} 及 T_{AM} , 其内容分别为:

$$[0122] T_{MA} = 2 \times \frac{d_{MA}}{c} + T_{AM}^* + e^M \times T_{MA} \quad (10)$$

$$[0123] T_{AM} = T_{AM}^* + e^A \times T_{AM} \quad (11)$$

[0124] 其中, T_{AM}^* 表示 A 类锚节点处理来自 M 类移动节点 WiFi 检测信号 S_{MA} 的净时延, e^M 表示计时器 C_M 的固有误差系数;

[0125] (10) 式减去 (11) 式建立一个方程:

$$[0126] T_{MA} - T_{AM} = 2 \times \frac{d_{MA}}{c} + e^M \times T_{MA} - e^A \times T_{AM} \quad (12)$$

[0127] 与步骤 F1 中 (5) 式化为 (9) 式同理, (12) 式可化为:

$$[0128] T_{MA} - T_{AM} = 2 \times \frac{d_{MA}}{c} + (e^M - e^A) \times T_{AM} \quad (13)$$

[0129] 步骤 B3. 所述时间值 T_{MB} 及 T_{BM} , 其内容分别为:

$$[0130] T_{MB} = 2 \times \frac{d_{MB}}{c} + T_{BM}^* + e^M \times T_{MB} \quad (14)$$

$$[0131] T_{BM} = T_{BM}^* + e^B \times T_{BM} \quad (15)$$

[0132] 其中, T_{BM}^* 表示 B 类锚节点处理来自 M 类移动节点 WiFi 送检信号 S_{MB} 的净时延;因此, (14) 式减去 (15) 式建立一个方程:

$$[0133] T_{MB} - T_{BM} = 2 \times \frac{d_{MB}}{c} + e^M \times T_{MB} - e^B \times T_{BM} \quad (16)$$

[0134] 与步骤 F1 中 (5) 式化为 (9) 式同理, (16) 式可化为:

$$[0135] T_{MB} - T_{BM} = 2 \times \frac{d_{MB}}{c} + (e^M - e^B) T_{BM} \quad (17)$$

[0136] 步骤 B4. 所述一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统结构决定了所述 M 类移动节点至 A 类锚节点的距离值 d_{MA} 和 M 类移动节点至所述 B 类锚节点的距离值 d_2 的关系为

[0137] $d_{MA} + d_{MB} = d \quad (18)$

[0138] (9) 式、(13) 式、(17) 式、(18) 式联立, 建立一个关于未知数 e^A, e^B, e^C 和 d_{MA}, d_{MB} 的方程组 :

$$\begin{cases} T_{AB} - T_{BA} = 2 \times \frac{d}{c} + (e^A - e^B)T_{BA} & (a) \\ T_{MA} - T_{AM} = 2 \times \frac{d_{MA}}{c} + (e^M - e^A)T_{AM} & (b) \\ T_{MB} - T_{BM} = 2 \times \frac{d_{MB}}{c} + (e^M - e^B)T_{BM} & (c) \\ d_{MA} + d_2 = d & (d) \end{cases} \quad (19)$$

[0140] 对方程组进行求解, 其中 (19)-(a) 式可以化为 :

[0141] $(e^A - e^B)T_{BA} = T_{AB} - T_{BA} - 2 \times \frac{d}{c} \quad (20)$

[0142] 方程 (19)-(b) 式乘以一个系数 $\frac{T_{BA}}{T_{AM}}$, 得到 :

[0143] $\frac{T_{BA}}{T_{AM}}(T_{MA} - T_{AM}) = \frac{T_{BA}}{T_{AM}} \times 2 \times \frac{d_{MA}}{c} + (e^M - e^A)T_{BA} \quad (21)$

[0144] 方程 (19)-(c) 式乘以一个系数 $\frac{T_{BA}}{T_{BM}}$, 得到 :

[0145] $\frac{T_{BA}}{T_{BM}}(T_{MB} - T_{BM}) = \frac{T_{BA}}{T_{BM}} \times 2 \times \frac{d_{MB}}{c} + (e^M - e^B)T_{BA} \quad (22)$

[0146] (21) 式减去 (22) 式, 得

[0147] $\frac{T_{BA}}{T_{AM}}(T_{MA} - T_{AM}) - \frac{T_{BA}}{T_{BM}}(T_{MB} - T_{BM}) = 2 \times \frac{T_{BA}}{c} \left(\frac{d_{MA}}{T_{AM}} - \frac{d_{MB}}{T_{BM}} \right) - (e^A - e^B)T_{BA} \quad (23)$

[0148] 将 (20) 式代入 (23) 式, 得到 :

[0149]

$$\frac{T_{BA}}{T_{AM}}(T_{MA} - T_{AM}) - \frac{T_{BA}}{T_{BM}}(T_{MB} - T_{BM}) = 2 \times \frac{T_{BA}}{c} \left(\frac{d_{MA}}{T_{AM}} - \frac{d_{MB}}{T_{BM}} \right) - \left(T_{AB} - T_{BA} - 2 \times \frac{d}{c} \right) \quad (24)$$

[0150] 将 (24) 式化简, 得到 :

[0151] $d_{MA} - \frac{T_{AM}}{T_{BM}}d_{MB} = \frac{c}{2} \times T_{AM} \left(\frac{T_{MA}}{T_{AM}} - \frac{T_{MB}}{T_{BM}} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{T_{BA}} \right) - d \times \frac{T_{AM}}{T_{BA}} \quad (25)$

[0152] 将 (19)-(d) 式与 (25) 式联立, 可得一个关于 d_{MA}, d_{MB} 的方程组 :

$$\begin{cases} d_{MA} + d_{MB} = d \\ d_{MA} - \frac{T_{AM}}{T_{BM}} * d_{MB} = \frac{c}{2} \times T_{AM} \times \left(\frac{T_{MA}}{T_{AM}} - \frac{T_{MB}}{T_{BM}} + \frac{T_{AB} - T_{BA}}{T_{BA}} \right) - d \times \frac{T_{AM}}{T_{BA}} \end{cases} \quad (26)$$

[0154] 解这个方程组, 得出所述 M 类移动节点至 A 类锚节点的距离值 d_{MA} 和 M 类移动节点至所述 B 类锚节点的距离值 d_{MB} , 即所述 TOA 抑制误差方法计算公式 (2) 式 :

[0155]

$$\begin{cases} d_{MA} = d \times \frac{T_{AM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 - \frac{T_{BM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{MA}T_{BM} - T_{AM}T_{MB} - T_{AM}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \\ d_{MB} = d \times \frac{T_{BM}}{T_{AM} + T_{BM}} \times (1 + \frac{T_{AM}}{T_{BA}}) + \frac{c}{2} \times \frac{1}{T_{AM} + T_{BM}} \times \left(T_{AM}T_{MB} - T_{MA}T_{BM} + T_{AM}T_{BM} - T_{AM}T_{BM} \frac{T_{AB}}{T_{BA}} \right) \end{cases} \quad (2)$$

[0156] 测距误差来自方法的推导过程中近似计算的误差,与 $-e^A \times (T_{AB} - T_{BA})$ 有关,事实上此误差计算过程中已经再次被抑制,取 $d = 400m$, 1000 次随机测试结果如图 8c 显示,误差分布区间为 $[-0.0194m, +0.0191m]$,与 $2m$ 定位精度的比例为不到 $\pm 1\%$,不会影响定位精度。

[0157] 另一方面,实际中煤矿井下巷道,为巷道走向长度远大于顶底板宽度和侧壁高度的三维环境,本发明定位方法采用一维参考系进行定位,会因为巷道的顶底板宽度和侧壁高度的忽略造成轻微误差,针对用 h 表示巷道高度, l 表示巷道宽度,造成的误差用 Δd 表示,在高 $h = 3m$,宽 $l = 3m$ 的矩形巷道,对于 d_{MA} ,情况为:

$$[0158] \quad 0 \leq \Delta d \leq \sqrt[3]{d_{MA}^3 + h^3 + l^3} - d_{MA} \quad (27)$$

[0159] 测试取所述 WiFi 综合通信基站与所述 WiFi 定位分站的距离间隔为 $d = 400$,该范围内进行 1000 次随机测试,由图 8d 所示, Δd 的分布区间为 $[0m, 1.2171m]$,且 Δd 取值主要在 $0m$ 附近小范围波动。同时考虑两种误差的情况下,进行 1000 次随机测试,由图 8e 所示,系统的综合误差分布区间为 $[-0.0162m, +1.1448m]$,且主要在 $0m$ 附近小范围波动,不会影响到系统的定位精度和性能。

[0160] 本发明采用一种基于 TOA 的煤矿井下 WiFi 人员定位系统及定位方法,不需要以增加设备、加大设备密度为前提,实现煤矿井下人员精确定位,定位精度 $A_{cy} \leq 2m$;本发明采用“WiFi 综合通信基站 + WiFi 定位分站 + WiFi 人员定位卡”的系统结构,利用每个基站面向巷道两个走向分别设置定向天线的方式获取人员所在位置的方向信息;利用信号发送和接受两端处理过程时间相减的计算方法,避免了采用时间同步方式实现到达时间检测技术存在的设备要求高、实现难度大的问题,避免了由于煤矿巷道绝对长度仅为 10 公里以内,无线信号在巷道内传播时间极短造成的设备要求高的问题;提出和采用抑制 TOA 测距误差的距离计算方法,利用“双路 WiFi 媒介 + 单路光纤媒介”的信号传输模式,利用已知有线信道距离值,建立方程组,进行消元计算,有效抑制计时设备频率漂移所造成的计时误差为定位带来的误差,该影响因素对定位精度的影响可降低到 $\pm 0.02m$ 以内;系统的综合误差仅为 $[-0.0162m, +1.1448m]$,且绝大部分的误差值在 $0m$ 附近小范围波动,不会影响到系统 $2m$ 的定位精度;本发明采用 WiFi 技术进行人员定位,集成在煤矿井下 WiFi 综合通信系统中,有效的改善矿井通信系统与定位系统采用不同系统的管理不统一的问题,有效的解决了由于采用诸如 RFID、Zigbee 等其他 2.4G ISM 频段信号进行人员定位对矿井无线通信系统造成同频干扰的问题,对于矿井统一无线接口和无线平台、促进一体化综合监控与通信平台的建立、发展煤矿物联网具有重要意义。

[0161] 需要指出的是,以上所述实施实例用于进一步说明本发明,实施实例不应被视为限制本发明的范围。

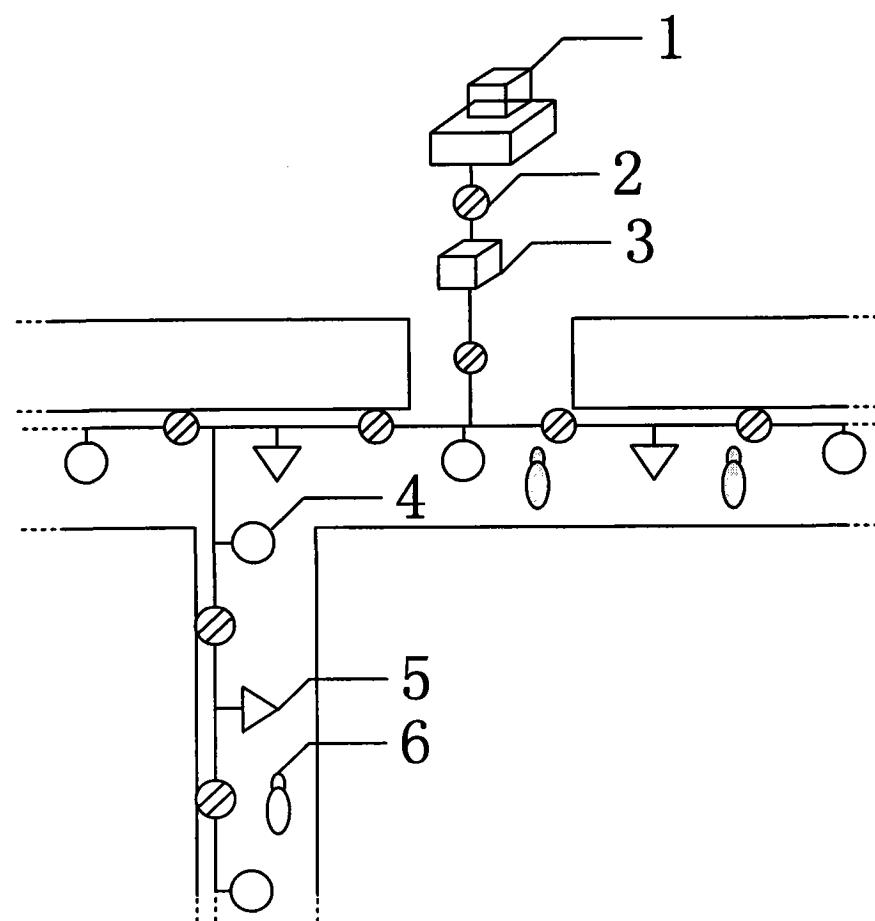


图 1

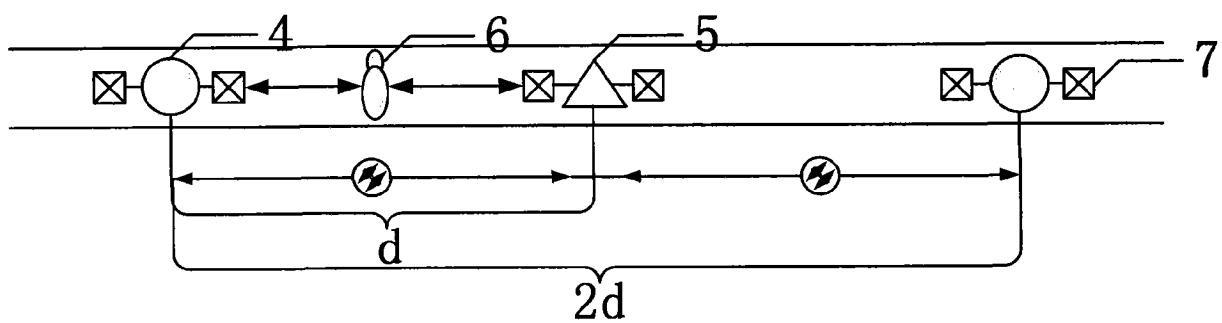


图 2

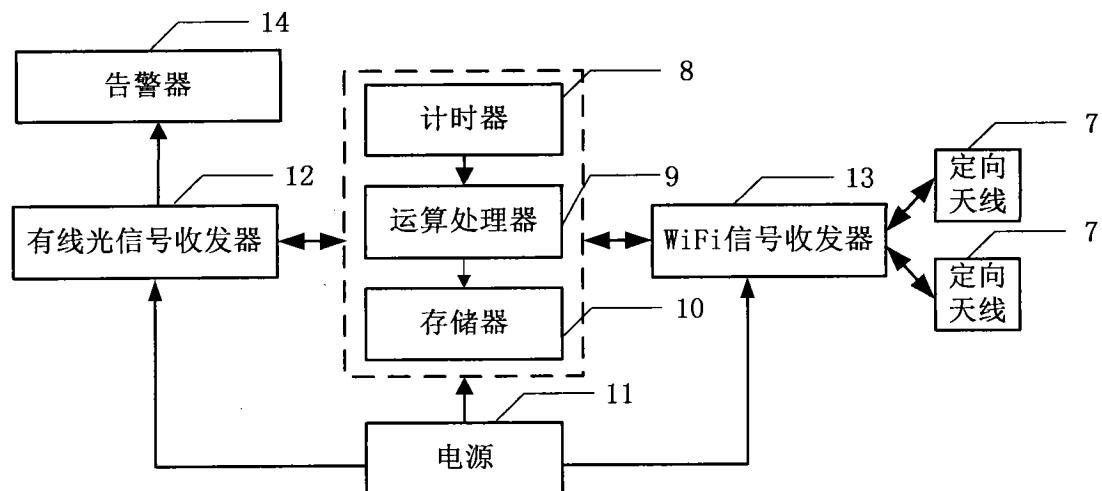


图3

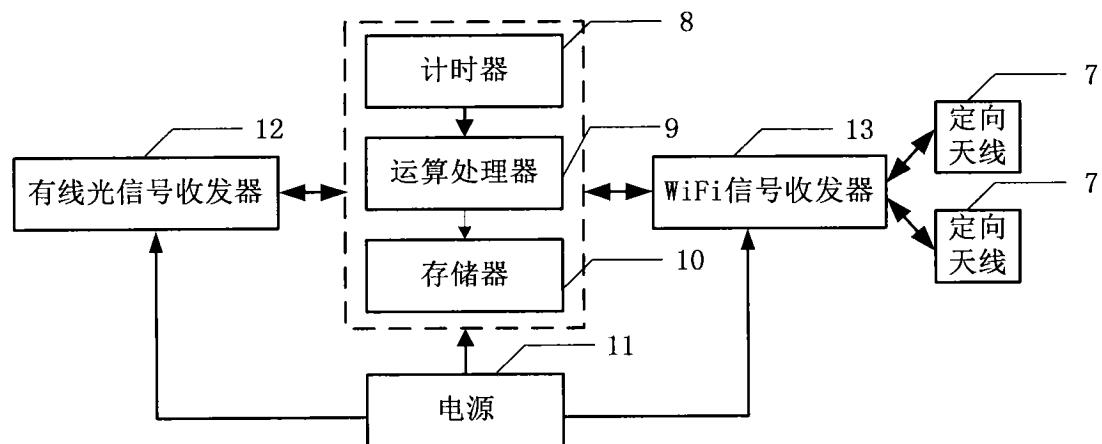


图4

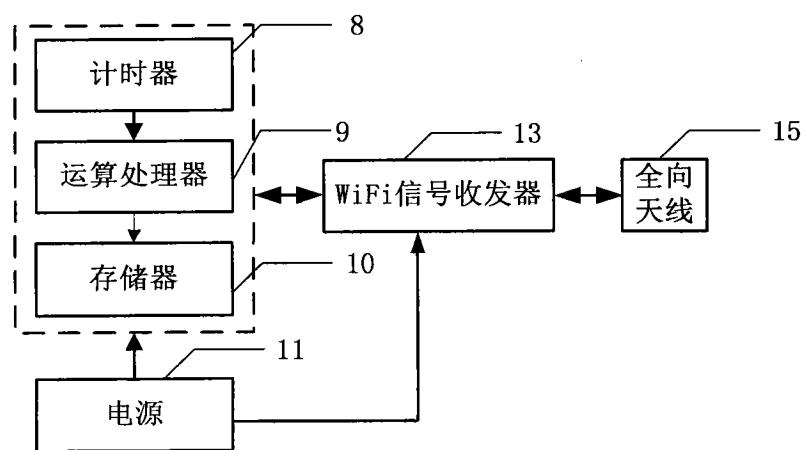


图 5

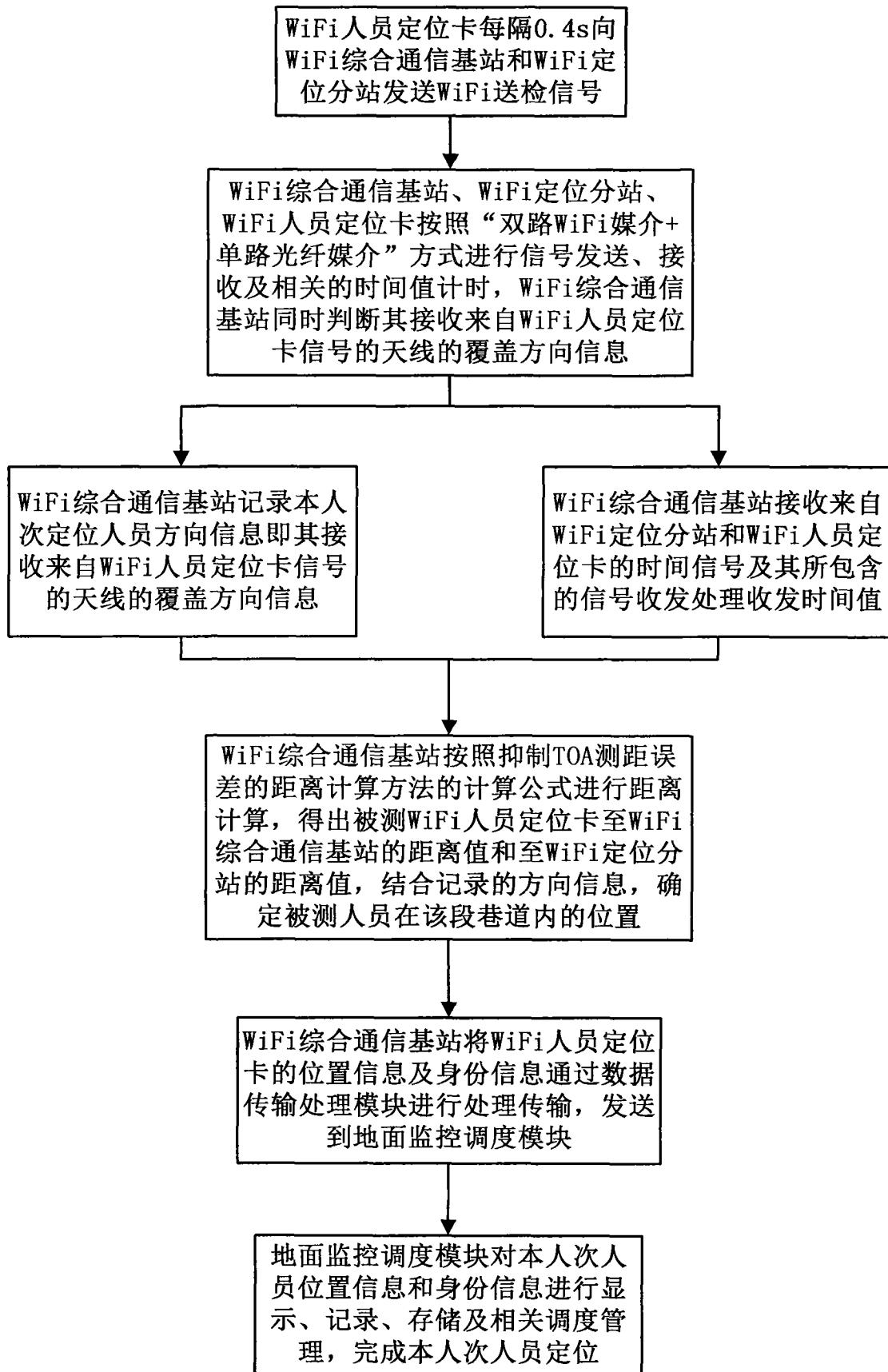


图 6

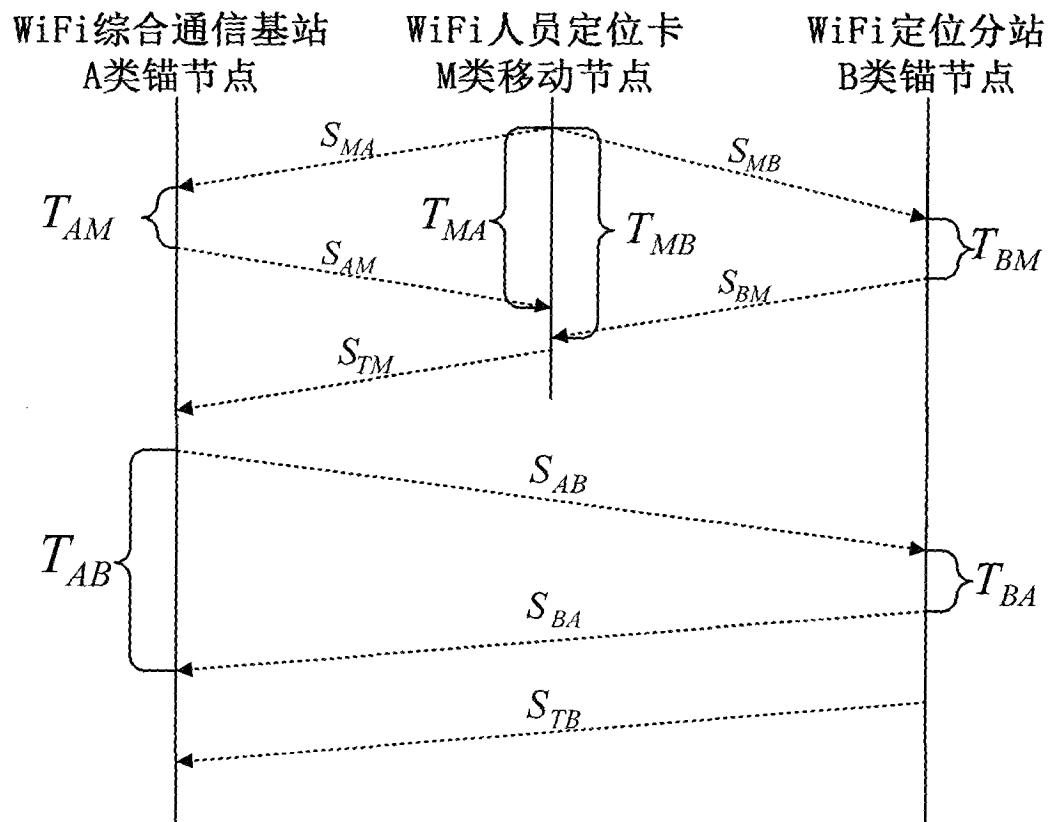


图 7

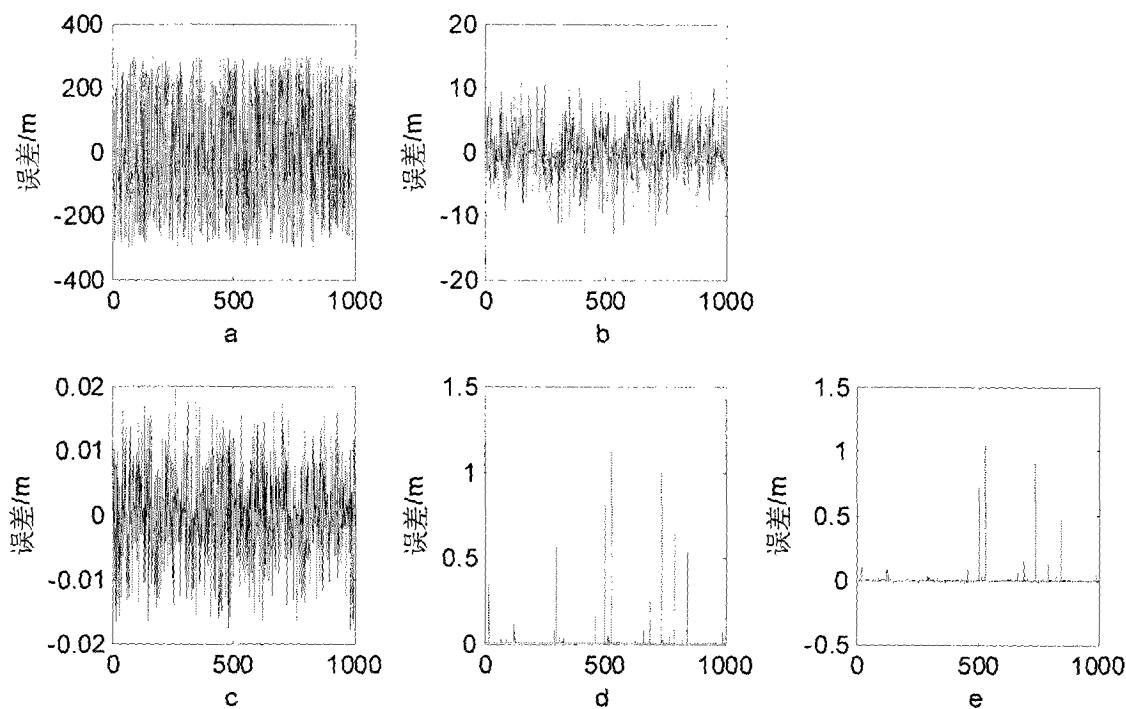


图 8