

令和6年度 秋期 応用情報技術者試験 午後問7「スマートイヤホンの設計」 復習レポート

1. システム概要と基本仕様の再確認

本問で題材となったスマートイヤホン(Sイヤホン)の設計は、限られたバッテリー容量という物理制約の中で、高度なリアルタイム音声処理をいかに遅滞なく実行するかという、組込みシステムにおける「性能と省電力の両立」を問う良問です。設計の根幹を成すハードウェア構成と制御フローを、まずは戦略的に整理しましょう。

ハードウェア構成と左右の役割(図1・表2より)

Sイヤホンは左右独立型ですが、システム上の役割は明確に異なります。

- 左イヤホン: スマホとペアリングを行い、通信の基点となるマスター機。
- 右イヤホン: スマホとの通信を、すべて左イヤホンを介して行うスレーブ機。

統合的な制御フロー(図2より)

図2のハードウェア構成図から読み取れるデータの流れ(パス)は、ソフトウェア設計に直結します。

1. 通信部(入力): スマホから音源データや同期信号を受信。
2. 制御部(処理): リアルタイムOS(RTOS)上で各タスクを管理。機能の使用状況に応じてクロック部へ周波数変更を指示し、音声データを加工・制御。
3. 音声制御部(出力): DAC/ADCを介し、マイクからの入力やスピーカーへの出力を実行。この「入力→処理→出力」のフローを維持しながら、複数の機能が競合する際のリソース配分をいかに制御するかが、次の解析の焦点となります。

2. 機能間の排他制御と割り込みイベントの解析(設問1関連)

リソースが限定されたシステムでは、全ての機能を同時に動かすのではなく、ユースケースに応じて不要な機能を「止める」設計が重要です。

機能間の排他関係(設問1(1))

表1および「Sイヤホンを用いて通話するときには、音源再生機能及び音声アシスト機能は使用できない」という制約事項に基づき、通話機能の開始時には **a** 音源再生機能 および **b** 音声アシスト機能を停止させる必要があります。これは処理負荷の軽減だけでなく、音声パスの競合を防ぐための基本的な排他制御です。

クロック再開イベントのメカニズム(設問1(2))

省電力のためにクロックを停止させている際、復帰のトリガーとなるイベントを正確に特定する必要があります。試験対策上のポイント: 表2の「通信部」の説明にある「スマホからのデータを受信すると……データを受信したことをクロック部に送信する」という記述が直接の根拠です。

1. 発生: スマホからBluetoothデータを受信(イベント)。
2. 通知: 通信部がクロック部へ信号を送信。
3. 復帰: クロック部が信号を受けてから5ミリ秒後にクロック供給を再開。したがって、解答は「イ: スマホからのデータを受信」となります。

3. クロック周波数制御による消費電力最適化の計算(設問2関連)

RTOS設計において、CPU負荷率の算出はシステムの安定稼働を保证する「証明」です。本設問では、基準周波数(1倍)における各タスクの負荷率を合算し、選択肢の中から「合計負荷を上回る最小の倍率」を選び出します。

負荷計算の前提条件

設問2の指示に従い、**「メインタスク、通信タスク、OSのタスク切替え時間は無視」**して計算を行います。実務ではこれらオーバーヘッドも考慮しますが、試験では「表4の主要タスク」に集中することが求められます。

タスク名	起動周期 (ms)	基準実行時間 (ms)	負荷率 (実行/周期)
スピーカー(音源再生時)	5	3.4	0.68
スピーカー(通話時)	5	0.5	0.1
マイク	2	1.0	0.5
特定語検出	40	20.0	0.5

各ケースの計算プロセス

- 音源再生1(空欄c): スピーカー(音源再生) + マイク + 特定語検出
- $0.68 + 0.5 + 0.5 = 1.68 \rightarrow 1.68$ 倍以上が必要。よって「2」。
- 音源再生2(空欄d): スピーカー(音源再生) + マイク
- $0.68 + 0.5 = 1.18 \rightarrow 1.18$ 倍以上が必要。よって「1.5」。
- 通話時(空欄e): スピーカー(通話時) + マイク
- $0.1 + 0.5 = 0.6 \rightarrow 0.6$ 倍以上が必要。よって「1」。これら(2, 1.5, 1)の組み合わせにより、解答は「オ」となります。余裕度(マージン)を最小限に抑えつつ、デッドライン(起動周期)を死守する論理的な選択です。

4. リアルタイムOSにおけるタスク優先度と状態遷移(設問3・4関連)

処理能力を確保した後は、スケジューリングの最適化です。RTOSのプリエンティブ方式において、優先度は「データの消失リスク」に基づいて決定されます。

タスク優先度の決定理由(設問3(1))

本問では「入力の信頼性」を最優先する設計が採られています。

- マイク (f): 最優先。2msという最短周期で入力される音声を零さず拾う必要があります(Input-Reliability)。
- スピーカー (g): 次点。5ms周期でデータを出力し続けなければ音飛びが発生します(Output-Timing)。
- 特定語検出 (h): 最低。40ms周期と長く、内部解析処理であるため、音声入出力より数ミリ秒遅れても破綻しません。

左イヤホン独自の役割(設問3(2))

ソースには「左イヤホンでは、利用者が発した音声から、特定のキーワードを検出すると.....スマホへの指示として送信する」と明記されています。この「利用者の音声解析」を担当するのが「特定語検出」タスクであるため、これは左イヤホン固有のタスクとなります。

アイドルタスクと状態遷移(設問4(1))

アイドルタスクは「他に実行可能なタスクが一つもない時」にのみ実行される最低優先度のタスクです。したがって、アイドルタスクが実行中であれば、他の全タスクはイベントやリソースを待っている「待ち状態」にあります。

5. 起動周期制約とスリープ解除のトレードオフ(設問4(2)関連)

最後に、ハードウェアの物理的制約(復帰遅延)とソフトウェアの要求(リアルタイム性)の矛盾を説明します。

5msの復帰遅延という壁

表2の仕様によれば、クロックを一度停止させると、再開までに「**5ミリ秒**」の時間を要します。この間、システムは実質的に処理を中断することになります。

なぜ待機時以外に停止できないのか

システムのリアルタイム性を維持するための決定的な理由は以下の通りです。

- マイクタスクの周期 (**2ms**) および スピーカータスクの周期 (**5ms**) が、クロック再開にかかる時間(5ms)以下である。もし待機時以外(動作中)にクロックを停止させると、次にデータが届いてからクロックが動き出すまでの5msの間に、2ms周期のマイクタスクなどは実行機会を逃してしまいます。これは「起動周期内に処理を完了する」という絶対条件を破ることになり、音飛びやノイズという致命的な不具合を招きます。

実務への教訓

本レポートで解析した通り、組込み設計における省電力化は常に「復帰遅延(ウェイクアップレイテンシ)が最短のタスク周期を下回っているか」という検証とセットでなければなりません。ハードウェアの特性から論理的な限界点を見極め、システム全体の整合性を担保することこそが、プロフェッショナルな設計指針です。