

Design Document: Read2Play

Overview

Read AI是一个游戏化阅读平台，通过 AI 驱动的 Quiz 互动机制将传统的被动阅读转变为主动参与的游戏体验。系统的核心设计理念是利用心理学中的蔡格尼克效应（Zeigarnik Effect）和即时奖励机制，将长文阅读分解为一系列有趣的挑战，每次成功回答问题后解锁对应的文章片段作为奖励。

系统采用模块化架构，主要包含五个核心子系统：

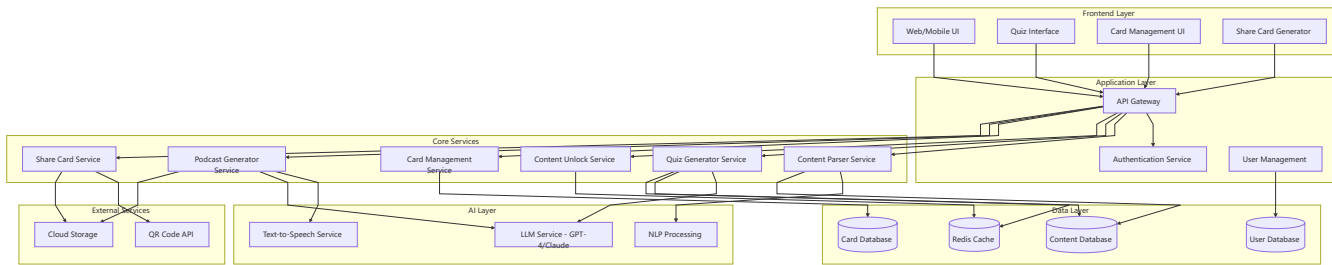
- 内容处理引擎** - 负责文章抓取、解析和存储
- AI Quiz 生成器** - 基于 LLM 生成趣味性问答
- 知识卡片管理系统** - 实现类似 Flomo 的卡片化知识沉淀
- AI 播客生成器** - 将文章转换为对话式音频
- 社交分享引擎** - 生成高颜值分享卡片

Key Design Principles

- 游戏化优先**: 所有交互设计都围绕游戏化机制，确保用户体验的趣味性
- 渐进式解锁**: 内容通过 Quiz 逐步解锁，保持用户的好奇心和参与度
- 轻量化沉淀**: 借鉴 Flomo 的设计哲学，降低知识记录的心理负担
- 视觉驱动分享**: 分享卡片设计注重视觉冲击力，激发用户的分享欲望
- AI 增强体验**: 利用 AI 能力提供多模态内容消费方式（文本、音频）

Architecture

System Architecture



Technology Stack Recommendations

Frontend:

- React/Next.js for web application
- React Native for mobile apps
- TailwindCSS for styling
- Framer Motion for animations

Backend:

- Node.js with TypeScript for API services
- Express.js or Fastify for API framework
- Bull for job queues (podcast generation, quiz generation)

AI Services:

- OpenAI GPT-4 or Anthropic Claude for quiz generation and content analysis
- ElevenLabs or Google Cloud TTS for podcast generation
- Hugging Face Transformers for NLP tasks

Database:

- PostgreSQL for relational data (users, articles, cards)
- Redis for caching and session management
- S3-compatible storage for media files

Infrastructure:

- Docker for containerization
- Kubernetes or AWS ECS for orchestration
- CloudFront/CDN for content delivery

Components and Interfaces

1. Content Parser Service

Responsibility: 从各种来源提取和解析文章内容

Key Methods:

```
1  interface ContentParserService {
2      // 从 URL 提取文章内容
3      parseArticleFromUrl(url: string): Promise<ParsedArticle>;
4
5      // 清理和格式化文章内容
6      cleanContent(rawHtml: string): CleanedContent;
7
8      // 提取文章元数据
9      extractMetadata(content: string): ArticleMetadata;
10
11     // 检测文章语言
12     detectLanguage(content: string): string;
13 }
```

Implementation Notes:

- 使用 Mozilla Readability 或类似库进行内容提取
- 支持主流平台的特殊解析规则（微信公众号、知乎等）
- 实现回退机制：如果自动解析失败，允许用户手动粘贴内容

2. Quiz Generator Service

Responsibility: 基于文章内容生成趣味性 Quiz 卡片

Key Methods:

```
1 interface QuizGeneratorService {
2     // 生成 Quiz 卡片
3     generateQuizzes(article: ParsedArticle, count: number): Promise<Quiz[]>;
4
5     // 生成单个 Quiz
6     generateSingleQuiz(contentFragment: string, style: QuizStyle): Promise<Quiz>;
7
8     // 验证 Quiz 质量
9     validateQuizQuality(quiz: Quiz): QualityScore;
10
11    // 生成反常规解读
12    generateUnconventionalInterpretation(article: ParsedArticle): Promise<string>;
13 }
```

Quiz Generation Strategy:

- 1. **内容分析:** 使用 LLM 识别文章的核心观点和关键片段
- 2. **问题生成:** 针对每个核心观点生成 1-2 个问题
- 3. **风格注入:** 为问题添加挑衅性或趣味性元素
- 4. **答案映射:** 将每个问题与对应的文章片段关联

Prompt Engineering:

```
1 你是一个创意问答设计师。基于以下文章片段，生成一个极具挑衅性或趣味性的选择题。
2
3 要求：
4 1. 问题要能激发好奇心，让人忍不住想知道答案
5 2. 选项设计要有迷惑性，但不能太难
6 3. 问题风格可以是：反直觉、挑战常识、幽默讽刺、哲学思辨
7 4. 避免直白的知识测试，要有游戏感
8
9 文章片段： {content_fragment}
10
11 输出格式：
12 {
13     "question": "问题文本",
14     "options": ["选项A", "选项B", "选项C", "选项D"],
15     "correctAnswer": 0,
16     "explanation": "为什么这个答案正确的解释",
17     "style": "provocative|humorous|philosophical"
18 }
```

3. Content Unlock Service

Responsibility: 管理内容解锁逻辑和进度追踪

Key Methods:

```
1 interface ContentUnlockService {
2     // 解锁内容片段
3     unlockFragment(userId: string, articleId: string, quizId: string):
4     Promise<ContentFragment>;
5
6     // 获取解锁进度
7     getUnlockProgress(userId: string, articleId: string): Promise<UnlockProgress>;
8
9     // 检查是否可以访问完整文章
10    canAccessFullArticle(userId: string, articleId: string): Promise<boolean>;
11
12    // 记录用户答题结果
13    recordQuizAttempt(userId: string, quizId: string, isCorrect: boolean): Promise<void>;
14 }
```

Unlock Logic:

- 每个 Quiz 对应一个或多个内容片段
- 用户回答问题后（无论对错）都解锁对应片段
- 完成所有 Quiz 后解锁完整文章访问权限
- 使用 Redis 缓存解锁状态以提高性能

4. Card Management Service

Responsibility: 管理用户的知识卡片，实现类似 Flomo 的功能

Key Methods:

```
1 interface CardManagementService {
2     // 创建知识卡片
3     createCard(userId: string, content: ContentFragment, reflection?: string):
4     Promise<Card>;
5
6     // 更新卡片思考
7     updateCardReflection(cardId: string, reflection: string): Promise<Card>;
8
9     // 获取用户的所有卡片
10    getUserCards(userId: string, filters?: CardFilters): Promise<Card[]>;
11
12    // 删除卡片
13    deleteCard(cardId: string): Promise<void>;
14
15    // 搜索卡片
16    searchCards(userId: string, query: string): Promise<Card[]>;
17 }
```

Card Data Structure:

- 原文片段（只读）
- 个人思考（可编辑）
- 元数据（来源文章、创建时间、标签）
- 关联的 Quiz 信息

UI Design Inspiration:

- 借鉴 Flomo 的极简设计
- 卡片式布局，支持瀑布流展示
- 快速输入思考的浮动输入框
- 支持 Markdown 格式

5. Podcast Generator Service

Responsibility: 将文章转换为对话式播客

Key Methods:

```
1 interface PodcastGeneratorService {
2     // 生成播客脚本
3     generatePodcastScript(article: ParsedArticle): Promise<PodcastScript>;
4
5     // 将脚本转换为音频
6     synthesizePodcast(script: PodcastScript): Promise<AudioFile>;
7
8     // 获取播客生成状态
9     getPodcastStatus(jobId: string): Promise<PodcastJob>;
10 }
```

Podcast Generation Pipeline:

1. **脚本生成:** 使用 LLM 将文章改写为对话式脚本
 - 两个虚拟主持人讨论文章内容
 - 保留核心观点，增加互动性和趣味性
 - 控制时长（建议 5-15 分钟）
2. **音频合成:** 使用 TTS 服务生成音频
 - 为两个主持人使用不同的声音
 - 添加适当的停顿和语气变化
 - 可选：添加背景音乐
3. **异步处理:** 播客生成是耗时操作，使用队列异步处理

Prompt for Script Generation:

```
1 你是一个播客脚本作家。将以下文章改写为两个主持人的对话式播客脚本。
2
3 要求：
```

```
4  1. 主持人A: 好奇、提问者角色
5  2. 主持人B: 知识渊博、解答者角色
6  3. 对话要自然流畅, 有互动感
7  4. 保留文章的核心观点和关键信息
8  5. 时长控制在 10 分钟左右 (约 1500-2000 字)
9  6. 开头要有吸引人的引入, 结尾要有总结
10
11 文章内容: {article_content}
12
13 输出格式:
14 {
15   "title": "播客标题",
16   "duration_estimate": "10分钟",
17   "script": [
18     {"speaker": "A", "text": "对话内容"},
19     {"speaker": "B", "text": "对话内容"}
20   ]
21 }
```

6. Share Card Service

Responsibility: 生成高颜值的分享卡片

Key Methods:

```
1  interface ShareCardService {
2      // 生成分享卡片
3      generateShareCard(card: Card, template: CardTemplate): Promise<ShareCard>;
4
5      // 生成二维码
6      generateQRCode(url: string, options: QRCodeOptions): Promise<string>;
7
8      // 获取可用模板
9      getAvailableTemplates(): Promise<CardTemplate[]>;
10
11     // 自定义卡片样式
12     customizeCardStyle(cardId: string, style: CardStyle): Promise<ShareCard>;
13 }
```

Card Design Elements:

- **布局:** 卡片式设计, 黄金比例 (3:4 或 4:5)
- **内容层次:**
 - 主标题/核心观点 (大字体, 醒目)
 - 文章片段 (中等字体, 可读性强)
 - 个人思考 (小字体, 区分颜色)
 - 二维码 (固定位置, 不抢眼但易扫描)
- **视觉元素:**
 - 渐变背景或纯色背景

- 装饰性图形元素
- 品牌标识 (Read Allogo)
- **可定制选项:**
 - 背景颜色/渐变
 - 字体样式
 - 装饰元素

Implementation:

- 使用 Canvas API 或 Puppeteer 生成图片
- 预设多个高质量模板
- 支持用户自定义配色方案
- 二维码使用动态链接, 支持追踪扫描数据

7. User Management & Gamification

Responsibility: 管理用户账户和游戏化激励系统

Key Methods:

```
1 interface UserManagementService {
2     // 获取用户统计数据
3     getUserStats(userId: string): Promise<UserStats>;
4
5     // 更新阅读连续天数
6     updateReadingStreak(userId: string): Promise<number>;
7
8     // 授予成就徽章
9     awardBadge(userId: string, badgeType: BadgeType): Promise<void>;
10
11    // 获取用户成就
12    getUserAchievements(userId: string): Promise<Achievement[]>;
13 }
```

Gamification Elements:

- **阅读连续天数:** 每日完成至少一篇文章的 Quiz
- **成就徽章:**
 - 首次完成文章
 - 连续阅读 7 天
 - 保存 10 张知识卡片
 - 分享 5 次卡片
- **统计数据:**
 - 已读文章数
 - 完成的 Quiz 数量
 - 保存的卡片数

- 分享次数

Data Models

Article

```
1 interface Article {
2   id: string;
3   userId: string; // 收藏该文章的用户
4   url: string;
5   title: string;
6   author?: string;
7   source: string; // 来源平台
8   content: string; // 清理后的正文
9   rawContent: string; // 原始 HTML
10  metadata: ArticleMetadata;
11  language: string;
12  wordCount: number;
13  estimatedReadTime: number; // 预计阅读时间（分钟）
14  status: 'pending' | 'parsed' | 'quiz_generated' | 'completed' | 'archived';
15  createdAt: Date;
16  updatedAt: Date;
17 }
18
19 interface ArticleMetadata {
20   publishedDate?: Date;
21   tags: string[];
22   category?: string;
23   coverImage?: string;
24 }
```

Quiz

```
1 interface Quiz {
2   id: string;
3   articleId: string;
4   question: string;
5   options: string[];
6   correctAnswer: number; // 正确答案的索引
7   explanation: string;
8   style: 'provocative' | 'humorous' | 'philosophical' | 'counterintuitive';
9   relatedFragmentIds: string[]; // 关联的内容片段 ID
10  difficulty: 'easy' | 'medium' | 'hard';
11  order: number; // 在文章中的顺序
12  createdAt: Date;
13 }
```


ContentFragment

```
1 interface ContentFragment {
2   id: string;
3   articleId: string;
4   content: string;
5   startPosition: number; // 在原文中的起始位置
6   endPosition: number;
7   isCore: boolean; // 是否为核心片段
8   relatedQuizIds: string[];
9   createdAt: Date;
10 }
```

Card (Knowledge Card)

```
1 interface Card {
2   id: string;
3   userId: string;
4   articleId: string;
5   fragmentId: string;
6   originalContent: string; // 原文片段
7   personalReflection?: string; // 个人思考
8   tags: string[];
9   isFavorite: boolean;
10  createdAt: Date;
11  updatedAt: Date;
12 }
```

UnlockProgress

```
1 interface UnlockProgress {
2   id: string;
3   userId: string;
4   articleId: string;
5   unlockedFragmentIds: string[];
6   completedQuizIds: string[];
7   quizAttempts: QuizAttempt[];
8   progress: number; // 0-100 的百分比
9   startedAt: Date;
10  completedAt?: Date;
11 }
12
13 interface QuizAttempt {
14   quizId: string;
15   selectedAnswer: number;
16   isCorrect: boolean;
17   attemptedAt: Date;
18 }
```

PodcastJob

```
1 interface PodcastJob {
2   id: string;
3   articleId: string;
4   userId: string;
5   status: 'pending' | 'generating_script' | 'synthesizing_audio' | 'completed' |
   'failed';
6   script?: PodcastScript;
7   audioUrl?: string;
8   duration?: number; // 音频时长（秒）
9   error?: string;
10  createdAt: Date;
11  completedAt?: Date;
12 }
13
14 interface PodcastScript {
15   title: string;
16   durationEstimate: string;
17   script: DialogueLine[];
18 }
19
20 interface DialogueLine {
21   speaker: 'A' | 'B';
22   text: string;
23 }
```

ShareCard

```
1 interface ShareCard {
2   id: string;
3   cardId: string;
4   userId: string;
5   imageUrl: string;
6   qrCodeUrl: string;
7   templateId: string;
8   customStyle?: CardStyle;
9   shareUrl: string;
10  scanCount: number;
11  createdAt: Date;
12 }
13
14 interface CardStyle {
15   backgroundColor: string;
16   gradientColors?: string[];
17   fontFamily: string;
18   accentColor: string;
19   decorativeElements: string[];
20 }
```

UserStats

```
1  interface UserStats {
2      userId: string;
3      articlesRead: number;
4      quizzesCompleted: number;
5      cardsCreated: number;
6      sharesCount: number;
7      currentStreak: number; // 当前连续天数
8      longestStreak: number; // 最长连续天数
9      lastActiveDate: Date;
10     achievements: Achievement[];
11     updatedAt: Date;
12 }
13
14 interface Achievement {
15     id: string;
16     type: BadgeType;
17     name: string;
18     description: string;
19     unlockedAt: Date;
20 }
21
22 type BadgeType =
23     | 'first_article'
24     | 'streak_7'
25     | 'streak_30'
26     | 'cards_10'
27     | 'cards_50'
28     | 'shares_5'
29     | 'quizzes_100';
```

Correctness Properties

属性 (Property) 是系统在所有有效执行中都应该保持为真的特征或行为——本质上是关于系统应该做什么的形式化陈述。属性是人类可读规范和机器可验证正确性保证之间的桥梁。

Property 1: Quiz 生成数量约束

对于任何文章，当 Quiz 生成器分析并生成 Quiz 时，返回的 Quiz 数量应该在 3 到 5 个之间（包含 3 和 5）。

Validates: Requirements 1.1

Property 2: Quiz 包含有效选项

对于任何生成的 Quiz，它应该包含一个非空的选项列表，且正确答案索引应该在选项列表的有效范围内。

Validates: Requirements 1.4

Property 3: 回答 Quiz 解锁对应片段

对于任何 Quiz 和用户答案，当用户回答该 Quiz 后，Content Unlocker 应该返回与该 Quiz 关联的内容片段。

Validates: Requirements 1.5, 2.1

Property 4: 解锁片段包含位置信息

对于任何解锁的内容片段，它应该包含在原文中的起始位置和结束位置信息。

Validates: Requirements 2.2

Property 5: 完成所有 Quiz 解锁完整文章

对于任何文章和用户，当用户完成该文章的所有 Quiz 后，系统应该允许该用户访问完整文章内容。

Validates: Requirements 2.3

Property 6: 解锁进度持久化 (Round-trip)

对于任何用户和文章，保存解锁进度后再查询该进度，应该返回相同的已解锁片段列表和已完成 Quiz 列表。

Validates: Requirements 2.5

Property 7: Keep 操作创建知识卡片

对于任何内容片段，当用户选择 Keep 该片段时，Card Manager 应该创建一个包含该片段内容和元数据的知识卡片。

Validates: Requirements 3.2, 4.1

Property 8: Throw Away 操作隐藏内容

对于任何内容片段，当用户选择 Throw Away 该片段后，该片段不应该出现在用户的内容列表或推荐中。

Validates: Requirements 3.3

Property 9: 创建卡片时思考字段可选

对于任何内容片段，创建知识卡片时不提供个人思考内容应该成功，且创建的卡片应该包含原文片段但思考字段为空。

Validates: Requirements 3.5

Property 10: 卡片思考内容关联存储

对于任何知识卡片，创建时添加的个人思考内容应该与原文片段关联存储，查询该卡片时应该返回相同的思考内容。

Validates: Requirements 4.2, 4.3

Property 11: 卡片思考可编辑

对于任何已存在的知识卡片，更新其个人思考内容后再查询，应该返回更新后的思考内容。

Validates: Requirements 4.4

Property 12: 卡片按时间顺序排列

对于任何用户的知识卡片列表，查询返回的卡片应该按创建时间降序排列（最新的在前）。

Validates: Requirements 4.6

Property 13: 完成阅读生成反常规解读

对于任何文章，当用户完成该文章的所有 Quiz 后，系统应该生成一个反常规解读内容。

Validates: Requirements 5.1

Property 14: 播客生成返回音频文件

对于任何文章，当用户请求生成播客时，Podcast Generator 应该最终返回一个有效的音频文件 URL。

Validates: Requirements 6.1

Property 15: 分享卡片包含二维码

对于任何知识卡片，生成分享卡片时，返回的卡片图片应该包含一个有效的二维码，且该二维码解码后应该是一个有效的 URL。

Validates: Requirements 7.2, 7.6

Property 16: 自定义样式应用到分享卡片

对于任何知识卡片和自定义样式，使用该样式生成分享卡片后，卡片的样式属性应该与提供的自定义样式匹配。

Validates: Requirements 7.5

Property 17: 每日推荐生成

对于任何活跃用户，系统每天应该生成至少一个文章推荐。

Validates: Requirements 8.1

Property 18: 完成任务更新统计数据

对于任何用户，当用户完成一个 Quiz 或创建一个卡片后，查询用户统计数据应该反映这些操作（Quiz 完成数或卡片数增加）。

Validates: Requirements 8.3

Property 19: 连续阅读授予徽章

对于任何用户，当用户的阅读连续天数达到特定阈值（如 7 天、30 天）时，系统应该授予对应的成就徽章。

Validates: Requirements 8.4

Property 20: 添加文章到收藏列表

对于任何文章 URL，当用户添加该 URL 到稍后阅读列表后，查询用户的收藏列表应该包含该文章。

Validates: Requirements 9.1

Property 21: 多种方式收藏文章

对于任何有效的文章来源（浏览器扩展、分享链接、直接输入），通过该来源添加文章应该成功，且文章应该出现在收藏列表中。

Validates: Requirements 9.2

Property 22: 收藏列表显示必需信息

对于任何用户的收藏列表，返回的每篇文章应该包含标题、来源和收藏时间字段。

Validates: Requirements 9.3

Property 23: 删除文章从列表移除

对于任何收藏列表中的文章，当用户删除该文章后，该文章不应该再出现在收藏列表中。

Validates: Requirements 9.4

Property 24: 文章状态正确标记

对于任何文章，当 Quiz 生成完成后，文章状态应该标记为 'quiz_generated'；当用户完成所有 Quiz 后，状态应该标记为 'completed'。

Validates: Requirements 9.5

Property 25: 文章解析过滤广告内容

对于任何包含常见广告标记（如 'advertisement', 'ad-container' 等 class）的 HTML 内容，解析后的正文不应该包含这些广告元素。

Validates: Requirements 10.1

Property 26: 解析失败提供错误信息

对于任何无法成功解析的文章 URL，系统应该返回错误信息并提供手动输入内容的选项。

Validates: Requirements 10.3

Property 27: 解析保留文章结构

对于任何文章，解析后的内容应该保留基本的结构信息（段落、标题、列表等），而不是纯文本。

Validates: Requirements 10.4

Property 28: 解析提取元数据

对于任何文章，解析后应该提取并返回元数据对象，包含作者、发布时间、来源等字段（即使某些字段可能为空）。

Validates: Requirements 10.5

Error Handling

Quiz Generation Errors

Scenario: LLM 服务不可用或返回无效响应

Handling:

- 实现重试机制（最多 3 次，指数退避）
- 如果仍然失败，使用备用 LLM 服务
- 最终失败时，标记文章为 'pending' 状态，稍后重试
- 向用户显示友好的错误消息："Quiz 生成中遇到问题，我们稍后会重试"

Scenario: 生成的 Quiz 质量不佳（选项太少、问题不清晰等）

Handling:

- 实现 Quiz 质量验证函数
- 如果质量分数低于阈值，重新生成
- 记录低质量 Quiz 用于改进 prompt

Content Parsing Errors

Scenario: 无法访问文章 URL（404、网络错误等）

Handling:

- 返回明确的错误类型 ('url_not_found', 'network_error', 'timeout')
- 提供手动粘贴内容的选项
- 对于临时错误（网络问题），支持重试

Scenario: 文章内容为非文本格式（PDF、视频等）

Handling:

- 检测内容类型
- 对于 PDF，使用 PDF 解析库提取文本
- 对于不支持的格式，提示用户并建议手动输入

Scenario: 解析后内容过短或过长

Handling:

- 过短 (< 100 字) : 警告用户内容可能不完整, 询问是否继续
- 过长 (> 50000 字) : 提示用户文章较长, 可能需要更多时间生成 Quiz

Podcast Generation Errors

Scenario: TTS 服务失败或音频生成超时

Handling:

- 播客生成是异步的, 失败不影响主要功能
- 更新 PodcastJob 状态为 'failed', 记录错误信息
- 允许用户重新请求生成
- 提供降级方案: 纯文本版的播客脚本

Card Management Errors

Scenario: 用户尝试 Keep 已经被 Throw Away 的内容

Handling:

- 允许操作, 将内容从 'thrown_away' 状态恢复
- 这是合理的用户行为 (改变主意)

Scenario: 存储空间不足或数据库错误

Handling:

- 捕获数据库异常
- 向用户显示错误: "保存失败, 请稍后重试"
- 记录错误日志用于监控

Share Card Generation Errors

Scenario: 图片生成失败或二维码服务不可用

Handling:

- 重试机制 (最多 2 次)
- 如果二维码服务失败, 使用备用二维码生成库
- 最终失败时, 提供纯文本分享链接作为降级方案

General Error Principles

1. **用户友好的错误消息:** 避免技术术语, 提供清晰的下一步建议
2. **优雅降级:** 核心功能失败时, 提供替代方案
3. **错误日志:** 记录所有错误用于监控和调试
4. **重试策略:** 对于临时性错误, 实现智能重试
5. **错误边界:** 使用 React Error Boundaries 防止 UI 崩溃

Testing Strategy

Dual Testing Approach

本项目采用**单元测试**和**基于属性的测试 (Property-Based Testing, PBT)** 相结合的策略，两者互补以实现全面的测试覆盖。

单元测试用于：

- 验证特定的示例和边界情况
- 测试组件之间的集成点
- 测试错误处理和异常情况
- 验证 UI 组件的渲染和交互

基于属性的测试用于：

- 验证在所有输入下都应该成立的通用属性
- 通过随机化实现全面的输入覆盖
- 发现边界情况和意外的输入组合
- 验证系统的不变量和一致性

Property-Based Testing Configuration

测试框架选择：

- JavaScript/TypeScript: **fast-check**
- Python (如果用于 AI 服务): **Hypothesis**

配置要求：

- 每个属性测试至少运行 **100 次迭代**（由于随机化）
- 每个测试必须引用设计文档中的属性编号
- 标签格式: `Feature: read2play, Property {number}: {property_text}`

示例配置 (fast-check):

```
1  import fc from 'fast-check';
2
3  describe('Feature: read2play, Property 1: Quiz 生成数量约束', () => {
4    it('should generate 3-5 quizzes for any article', async () => {
5      await fc.assert(
6        fc.asyncProperty(
7          articleArbitrary(),
8          async (article) => {
9            const quizzes = await quizGenerator.generateQuizzes(article, 5);
10             expect(quizzes.length).toBeGreaterThanOrEqual(3);
11             expect(quizzes.length).toBeLessThanOrEqual(5);
12           }
13         ),
14         { numRuns: 100 }
15       );
16     });
17   });
```

```
16   });  
17   });
```

Test Organization

```
1  tests/  
2  └─ unit/  
3    └─ services/  
4        └─ content-parser.test.ts  
5        └─ quiz-generator.test.ts  
6        └─ card-manager.test.ts  
7        └─ share-card.test.ts  
8    └─ components/  
9        └─ QuizCard.test.tsx  
10       └─ CardList.test.tsx  
11       └─ ShareCard.test.tsx  
12    └─ utils/  
13       └─ validation.test.ts  
14  └─ property/  
15      └─ quiz-generation.property.test.ts  
16      └─ content-unlock.property.test.ts  
17      └─ card-management.property.test.ts  
18      └─ article-parsing.property.test.ts  
19  └─ integration/  
20      └─ quiz-flow.integration.test.ts  
21      └─ card-flow.integration.test.ts  
22      └─ share-flow.integration.test.ts  
23  └─ e2e/  
24      └─ reading-journey.e2e.test.ts  
25      └─ gamification.e2e.test.ts
```

Key Test Scenarios

Unit Tests

Content Parser Service:

- 测试解析微信公众号文章
- 测试解析知乎文章
- 测试处理 404 错误
- 测试过滤广告内容
- 测试提取元数据

Quiz Generator Service:

- 测试生成指定数量的 Quiz
- 测试 Quiz 包含有效选项
- 测试处理 LLM 服务错误
- 测试 Quiz 质量验证

Card Manager Service:

- 测试创建知识卡片
- 测试更新卡片思考
- 测试删除卡片
- 测试按时间排序
- 测试搜索卡片

Share Card Service:

- 测试生成分享卡片图片
- 测试嵌入二维码
- 测试应用自定义样式
- 测试处理生成失败

Property-Based Tests

Property 1-5: Quiz 生成和内容解锁

- 生成随机文章内容
- 验证 Quiz 数量、选项有效性、解锁逻辑

Property 6: 解锁进度持久化

- 生成随机解锁进度
- 验证 round-trip 一致性

Property 7-12: 知识卡片管理

- 生成随机内容片段和卡片
- 验证创建、更新、排序逻辑

Property 13-16: 高级功能

- 验证反常规解读生成
- 验证播客生成
- 验证分享卡片生成

Property 17-24: 用户管理和游戏化

- 生成随机用户行为序列
- 验证统计数据更新、徽章授予

Property 25-28: 文章解析

- 生成随机 HTML 内容
- 验证解析、过滤、元数据提取

Integration Tests

Quiz Flow:

1. 添加文章 → 生成 Quiz → 回答 Quiz → 解锁内容 → Keep/Throw Away
2. 验证整个流程的数据一致性

Card Flow:

1. Keep 内容 → 创建卡片 → 添加思考 → 编辑思考 → 查询卡片
2. 验证卡片数据的完整性

Share Flow:

1. 创建卡片 → 生成分享卡片 → 自定义样式 → 生成二维码
2. 验证分享卡片的所有元素

End-to-End Tests

Reading Journey:

- 模拟完整的用户阅读旅程
- 从添加文章到完成所有 Quiz 到保存卡片

Gamification:

- 模拟多日连续阅读
- 验证统计数据 and 徽章系统

Test Data Generation

Arbitraries for Property Tests (fast-check):

```
1 // 文章生成器
2 const articleArbitrary = () => fc.record({
3   title: fc.string({ minLength: 10, maxLength: 100 }),
4   content: fc.string({ minLength: 500, maxLength: 5000 }),
5   author: fc.option(fc.string()),
6   url: fc.webUrl(),
7   language: fc.constantFrom('zh-CN', 'en-US'),
8 });
9
10 // Quiz 生成器
11 const quizArbitrary = () => fc.record({
12   question: fc.string({ minLength: 10, maxLength: 200 }),
13   options: fc.array(fc.string({ minLength: 5, maxLength: 100 }), { minLength: 2,
14     maxLength: 6 }),
15   correctAnswer: fc.nat(),
16   explanation: fc.string({ minLength: 20, maxLength: 300 }),
17 });
18
19 // 内容片段生成器
20 const fragmentArbitrary = () => fc.record({
21   content: fc.string({ minLength: 100, maxLength: 1000 }),
```

```

21   startPosition: fc.nat(),
22   endPosition: fc.nat(),
23 });
24
25 // 知识卡片生成器
26 const cardArbitrary = () => fc.record({
27   originalContent: fc.string({ minLength: 100, maxLength: 1000 }),
28   personalReflection: fc.option(fc.string({ minLength: 10, maxLength: 500 })),
29   tags: fc.array(fc.string({ minLength: 2, maxLength: 20 }), { maxLength: 5 }),
30 });

```

Mocking Strategy

最小化 Mock 使用:

- 优先使用真实实现进行测试
- 仅对外部服务 (LLM API、TTS API、QR Code API) 使用 mock
- 使用内存数据库 (如 SQLite) 进行数据库测试

Mock 外部服务:

```

1  // Mock LLM 服务
2  const mockLLMService = {
3    generateQuiz: jest.fn().mockResolvedValue({
4      question: 'Mock question',
5      options: ['A', 'B', 'C', 'D'],
6      correctAnswer: 0,
7      explanation: 'Mock explanation',
8    }),
9  };
10
11 // Mock TTS 服务
12 const mockTTSService = {
13   synthesize: jest.fn().mockResolvedValue({
14     audioUrl: 'https://example.com/audio.mp3',
15     duration: 600,
16   }),
17 };

```

Continuous Integration

CI Pipeline:

1. **Lint:** ESLint + Prettier
2. **Type Check:** TypeScript compiler
3. **Unit Tests:** Jest (快速反馈)
4. **Property Tests:** fast-check (更全面的覆盖)
5. **Integration Tests:** 测试服务间交互
6. **E2E Tests:** Playwright (仅在 PR 合并前运行)

Coverage Goals:

- 单元测试覆盖率: > 80%
- 关键路径 (Quiz 生成、内容解锁、卡片管理) : > 90%
- 属性测试: 覆盖所有 28 个正确性属性

Performance Testing

Load Testing:

- 测试并发 Quiz 生成请求
- 测试大量用户同时访问
- 测试数据库查询性能

Benchmarks:

- Quiz 生成时间: < 5 秒
- 内容解析时间: < 2 秒
- 卡片查询时间: < 100ms
- 分享卡片生成时间: < 3 秒

Implementation Notes

Phase 1: Core Reading Experience (MVP)

- 文章收藏和解析
- Quiz 生成和展示
- 内容解锁机制
- 基础的 Keep/Throw Away 功能

Phase 2: Knowledge Management

- 完整的知识卡片系统
- 卡片编辑和管理
- 搜索和过滤功能

Phase 3: Advanced Features

- AI 播客生成
- 反常规解读
- 高颜值分享卡片

Phase 4: Gamification & Social

- 完整的游戏化系统
- 成就和徽章
- 社交分享和传播

Security Considerations

1. 内容安全:

- 对用户输入的 URL 进行验证
- 防止 XSS 攻击 (清理 HTML 内容)
- 限制文章大小防止 DoS

2. API 安全:

- 实现 rate limiting
- 使用 JWT 进行身份验证
- API key 管理 (LLM、TTS 服务)

3. 数据隐私:

- 用户数据加密存储
- 遵守 GDPR/数据保护法规
- 提供数据导出和删除功能

Scalability Considerations

1. 缓存策略:

- Redis 缓存 Quiz 和解锁状态
- CDN 缓存分享卡片图片
- 浏览器缓存静态资源

2. 异步处理:

- Quiz 生成使用队列
- 播客生成使用后台任务
- 分享卡片生成可异步

3. 数据库优化:

- 为常用查询添加索引
- 使用数据库连接池
- 考虑读写分离

Monitoring and Observability

1. 关键指标:

- Quiz 生成成功率
- 内容解析成功率
- 用户完成率 (完成所有 Quiz 的比例)
- 卡片创建率 (Keep vs Throw Away)

2. 日志记录:

- 结构化日志 (JSON 格式)
- 错误日志和堆栈跟踪
- 性能日志 (慢查询、慢 API)

3. 告警:

- LLM 服务失败率过高
- 数据库连接池耗尽
- API 响应时间过长