

УДК 004.9

В.А. Темников

Національний авіаційний університет, Київ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ АЭРОПОРТОВ

Приведены основные принципы построения голосовой системы информационной поддержки принятия оперативных решений администраторами диспетчерских служб аэропортов в процессе осуществления внутрисменного контроля за действиями авиадиспетчеров во время выполнения ими функциональных обязанностей. Информационная система предназначена для перманентной аутентификации авиадиспетчеров и мониторинга их психофизиологического состояния. Система функционирует в режиме реального времени.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, диспетчерская служба аэропорта, авиадиспетчер, психофизиологическое состояние человека, голос.

Введение

Одной из основных причин аварий и аварийных ситуаций в авиации является человеческий фактор. Так, опубликованные в литературе статистические данные свидетельствуют о том, что, например, до 80% всех аварий и нарушений технологического режима в авиации происходят по вине диспетчерского персонала. Ошибки в его работе в значительной степени обусловлены нахождением авиадиспетчеров в состоянии перманентного напряжения, связанного с ответственностью за жизнь людей и возможные значительные материальные потери.

В настоящее время вопросам разработки автоматических систем для обеспечения указанных видов контроля уделяется явно недостаточное внимание. В частности, за авиадиспетчерами в процессе их работы осуществляется лишь визуальный контроль со стороны старшего диспетчера.

Для снижения влияния человеческого фактора на безопасность полетов разработана система информационной поддержки принятия оперативных решений (СИППоР) лицами, осуществляющими контроль за действиями авиадиспетчеров (администраторами, старшими диспетчерами).

Разработанная информационная система предназначена для перманентной аутентификации авиадиспетчеров и мониторинга их психофизиологического (эмоционального) состояния (ПФЭС). СИППоР, функционируя в режиме реального времени, будет своевременно сигнализировать о нарушениях в работе диспетчеров, что позволит более эффективно и на более ранних стадиях предотвращать нарушения в работе диспетчеров, в том числе, отстранять от работы лиц, находящихся в ненадлежащем эмоциональном состоянии, состояниях утомления, сонливости, тревоги. Использование голоса в качестве анализируемого образа дает возможность осуществлять контроль диспетчеров бесконтактно, дистанционно, не отвлекая их от работы.

В статье представлены принципы построения и методы моделирования основных подсистем СИППоР, к которым относятся подсистемы аутентификации (для предотвращения доступа к информационным ресурсам несанкционированных лиц), идентификации (в случае непрохождения аутентификации), контроля (мониторинга) ПФС (для предотвращения доступа лиц, находящихся в ненадлежащем ПФС) авиадиспетчеров, а также подсистема предварительной обработки речевого сигнала.

Результаты исследования

Принципы построения и методы моделирования подсистем аутентификации, идентификации и мониторинга ПФС авиадиспетчера. Аутентификация и мониторинг ПФЭС по непрерывной речи сводятся к аутентификации и мониторингу ПФЭС по ключевым словам, выделенным из непрерывной слитной речи диспетчера. В качестве ключевых могут быть выбраны слова, часто употребляемые авиадиспетчерами в процессе работы или взятые из установленной нормативными документами профессиональной фразеологии.

Подсистема аутентификации диспетчеров. Голосовую подсистему аутентификации предлагается строить на основе теории распознавания образов [1].

Параметризацию речевого сигнала предлагается проводить с применением метода кратковременного анализа [2]. В процессе разработки СИППоР проводилась совместная разработка модулей параметризации и классификации. Модуль параметризации рекомендуется строить таким образом, чтобы обеспечить эффективную работу модуля классификации. При этом, классификацию диспетчеров предлагается осуществлять на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [3]. Их применение совместно с другими методами вычислительного интеллекта позволяет учесть наличие неполноты исходной информации. Для удовлетворения требований, предъявляемых к параметрам речевых сигналов со стороны ИНС раз-

работана система інформативних параметрів, побудована на основі пофреймово розрахованих кепстральних коефіцієнтів лінійного передбачення. Розрахунок кепстральних коефіцієнтів може проводитися з використанням різних методів, в частности, ґрунтованих на попередньому визначенні мел-кепстральних коефіцієнтів, коефіцієнтів лінійного передбачення (КЛП), коефіцієнтів перцептивного лінійного передбачення і др.

Для розрахунку кепстральних коефіцієнтів пропонується використовувати метод, ґрунтований на попередньому визначенні КЛП. КЛП розраховуються таким чином, щоб помилка в значенні найменших квадратів була мінімальною для заданого порядку передбачення p . При цьому порядок лінійного передбачення, як правило, беруть в межах від 8 до 20 в залежності від цілей і способів реалізації. Визначення кепстральних коефіцієнтів по КЛП слід проводити за формулою:

$$c(n) = \begin{cases} 0, & n < 0, \\ \log_{\varepsilon}(A), & n = 0, \\ a_n + \sum_{k=1}^{n-1} \binom{k}{n} c(k) a_{n-k}, & 0 < n < p, \\ \sum_{k=n-p}^{n-1} \binom{k}{n} c(k) a_{n-k}, & n > p. \end{cases}$$

де a_i – коефіцієнти лінійного передбачення, $c(i)$ – кепстральні коефіцієнти, p – порядок лінійного передбачення, n – номер кепстрального коефіцієнта, A – помилка лінійного передбачення.

Приведена формула рекурсивна, що дозволяє генерувати бажану кількість коефіцієнтів для параметризації. Їх якість напряму залежить від кількості КЛП. Експерименти, в процесі яких декілька дикторів багато раз промовляли різні фрази, показали хорошу повторюваність значень кепстральних коефіцієнтів. В результаті було виявлено, що інформативними для проведення аутентифікації є перші 12-20 кепстральних коефіцієнтів. В результаті тестування було отримано 98% правильної аутентифікації.

Підсистема контролю ПФЭС диспетчера.

Контроль ПФЭС авіадиспетчерів пропонується проводити на основі порівняльного аналізу контрольних і еталонних інформативних параметрів, що характеризують окремі (в першу чергу, гласні) фонем. В процесі досліджень були проведені теоретичні і експериментальні дослідження, метою яких було аналізувати параметри, що характеризують речеві фрагменти, з точки зору їх ефективності для визначення ПФЭС. Дослідження показали, що в якості інформативних параметрів цілком доцільно використовувати частоти основного тону, параметри, розраховані на їх основі (в частности, изрезанность), формантні частоти гласних фонем, а також тривалість промовлення диспетчером речевих фрагментів. Сегментацію на фонемі пропонується, як і шумоподавлення, проводити з використанням вейвлетів. Важливим при

визначенні ПФЭС авіадиспетчерів є відсутність необхідності в розпізнаванні всіх фонем паролічного речевого фрагмента (достатньо розпізнати лише декілька перших гласних фонем).

Підсистема ідентифікації диспетчерів. Задача ідентифікації значно ускладнюється при великій кількості контролюваних осіб і пов'язаним з цим великим числом еталонів в базі даних (БД). Підвищення швидкості ідентифікації можна досягти шляхом усунення областей «молчання» в речевому потоці, а також розробки нових алгоритмів для швидкого пошуку в метричних просторах. Розроблено процедуру проведення ідентифікації, ґрунтована на методах кластерного аналізу [4]. Ідея процедури заключається в кластеризації моделей диспетчерів в БД і постійному (в режимі реального часу) зменшенні кількості представлених для порівняння моделей диспетчерів (кластерів) з БД шляхом виключення тих моделей (кластерів), до яких найменш ймовірно належить ідентифіковуваний зразок (голос або зображення).

Метод моделювання підсистеми попередньої обробки (шумочистки) речевого сигналу. Було розроблено методика забезпечення підвищеного рівня очищення речевого сигналу від шумів і перешкодж, що використовує технології вейвлет-перетворення даних [5, 6]. Будь-який досліджуваний сигнал містить не тільки корисну інформацію $S(t)$, але і сліди деяких сторонніх впливів $N(t)$ – перешкоди або шум. Модель такого сигналу:

$$F(t) = S(t) + k N(t),$$

де k – коефіцієнт, що задає рівень шуму.

Шумовою складовою є гауссовий білий шум, відповідно, корисний сигнал $S(t)$ буде зосереджений в низькочастотній області спектра досліджуваного сигналу $F(t)$. Шумова складова була отримана шляхом моделювання білого шуму в пакеті MatLab з кількістю відліків, рівною кількості відліків корисного сигналу. Досліджуваний зашумлений сигнал формувался шляхом наступних перетворень:

$$F(t) = S(t) + 0,7 * N(t).$$

При вейвлет-перетворенні сигнал розкладається на апроксимуючі коефіцієнти, що представляють собою згладжений сигнал, і деталізуючі коефіцієнти, що описують коливання. В зв'язі з цим, шумова складова більше відображається в деталізуючих коефіцієнтах, при видаленні шуму обробляються саме вони. В відповідності з розробленою методикою процес видалення шуму з речевого сигналу пропонується проводити в середі MatLab в наступній послідовності:

1. Декомпозиція. Вибирається вейвлет і рівень розкладання N . Виробляється вейвлет-розкладання вихідного сигналу до рівня N . Вибір використовуваного вейвлета і глибини розкладання, в загальному випадку, залежить від властивостей конкретного сигналу. Більш гладкі вейвлети створюють більш гладку апроксимацію сигналу і навпаки – „короткі” вейвлети

лучше отслеживают пики аппроксимируемой функции. Глубина разложения влияет на величину отфильтровываемых деталей.

В эксперименте для разложения сигнала $F(t)$ применялись вейвлеты Хаара, дискретные аппроксимации вейвлетов Мейера, вейвлеты Добеши, симлеты и койфлеты при уровнях разложения $N=1-8$.

2. Пороговая обработка детализирующих вейвлет-коэффициентов. Для каждого уровня от 1 до N выбирается порог и проводится мягкая пороговая обработка детализирующих коэффициентов.

От выбора порогового уровня шума (дисперсии шума) зависит качество шумоподавления сигнала, оцениваемое в виде отношения сигнал/шум. Поиск оптимального значения означает отыскание такого порога, который при наименьшем смещении восстановленного сигнала обеспечивает наибольшее значение отношения сигнал/шум.

Для выбора оптимального порогового значения в эксперименте использовались адаптивный и эвристический критерии Штейна несмещенной оценки риска, универсальный и минимаксный критерии [6].

Поскольку качество шумоподавления сигнала зависит также и от способа применения пороговой обработки, для всех вышеперечисленных критериев использовалась многоуровневая обработка, осуществляемая с использованием порога, значения которого изменяются от уровня к уровню, и локальная обработка, подразумевающая использование порога, переменного не только по уровню разложения, но также зависящего от позиции коэффициентов детализации на данном уровне.

3. Реконструкция. Производится вейвлет-реконструкция, основанная на первоначальных аппроксимирующих коэффициентах уровня N и модифицированных детализирующих коэффициентах уровней $(1-N)$.

4. Сравнение очищенного сигнала $S^*(t)$ с исходным сигналом $S(t)$ путем расчета коэффициентов корреляции $R(S(t), S^*(t))$. Расчеты производились по всем восьми уровням разложения при одинаковых характеристиках шумоочистки.

5. Выбор оптимальных характеристик шумоочистки на основе анализа рассчитанных коэффициентов корреляции $R(S(t), S^*(t))$. А именно: типа вейвлета, уровня его разложения, критерия расчета уровня порога и метода обработки.

Сигнал, полученный в результате шумоочистки с применением вейвлет-преобразования пригоден для дальнейшего его анализа, поскольку выделение шумовой составляющей проводилось максимально корректно без потери информативности исходного сигнала. При использовании вейвлет-преобразования для очистки речевого сигнала от шума и помех важно предварительно оценить спектральный состав шумовой компоненты, поскольку это в значительной степени влияет на выбор критерия расчета уровня порога и метода шумообработки.

Вывод

Сочетание различных методов построения подсистем СИППоР (методов кепстрального анализа, вейвлет-преобразований, кластеризации и др.), применение ИНС и алгоритмов, основанных на метриках, позволяет создать высококачественные СИППоР в диспетчерских службах аэропортов.

Список литературы

1. Рамшивили Г.С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети. 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
5. Donoho, D.L. De-Noising by soft-thresholding // *IEEE Trans. on Inform. Theory.* – Vol. 41, №3. – 1995. – P. 613-627.
6. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. – М.: ДМК, 2005. – 303 с.

Надійшла до редколегії 9.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Козловський, Національний авіаційний університет, Київ.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОВБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ СЛУЖБАХ АЕРОПОРТІВ

В.О. Темніков

Наведено основні принципи побудови голосових системи інформаційної підтримки прийняття рішень адміністраторами диспетчерських служб аеропортів в процесі здійснення внутрішнього змінного контролю за діями авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків. Розроблена інформаційна система призначена для постійної аутентифікації авіадиспетчерів і моніторингу їх психофізіологічного стану. Система функціонує в режимі реального часу.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, диспетчерські служби аеропортів, авіадиспетчер, психофізіологічний стан людини, голос.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR BUILDING DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AIRPORT TRAFFIC CONTROL SERVICES

V.O. Temnikov

The main principles of constructing a voice system for information support of decision making by administrators of airport traffic control services in the process of exercising control over the actions of air traffic controllers during the performance of their functional duties are given. The developed information system is intended for permanent authentication of air traffic controllers and monitoring of their psycho physiological state. The system operates in real time.

Keywords: decision support system, airport traffic control service, air traffic controller, psychophysiological state of a person, voice.