Interactive Speaker Recognition

Применение обучения с подкреплением для решения задачи распознавания диктора

Вячеслав Головин
Евгений Шуранов (руководитель)

Huawei CBG AI и ФКН ВШЭ СПб

16.05.2023

Задача распознавания диктора (Speaker Recognition)

Два типа задач:

1. **Идентификация** — по услышанной речи выбираем одного диктора из списка.
2. **Верификация** — по услышанной речи решаем, произнёс ли её конкретный диктор.

Фактически обе задачи сводятся к определению меры похожести между двумя наборами данных:

1. Векторы признаков, вычисленные из полученных ранее аудиозаписей речи (**эмбеддинги дикторов** или голосовые подписи).
   Обозначение: $G = [g^k]_{k=1}^{K},\ K \in \mathbb{N}$.
2. Векторы признаков аудиозаписей речи, полученных сейчас (**эмбеддинги** произнесенных **слов**).
   Обозначение: $X = [x^t]_{t=1}^{T},\ T \in \mathbb{N}$.

Область исследования

Зачем нам *Interactive* Speaker Recognition

Некоторые системы распознавания запрашивают у диктора произносимые фразы. Логично выбирать эти слова и фразы таким образом, чтобы

- точность распознавания была выше,
- количество запросов было меньше,
- они были разнообразными (боремся со спуфингом).

Исследуемый подход: использование нейросетевого RL-агента для выбора запрашиваемых слов.

Подход предложен в статье *A Machine of Few Words — Interactive Speaker Recognition with Reinforcement Learning*, Mathieu Seurin et al., INTERSPEECH 2020, arXiv:2008.03127v1.

Цель и задачи

Цель: повышение точности систем распознавания диктора при помощи выбора запрашиваемых у диктора слов.

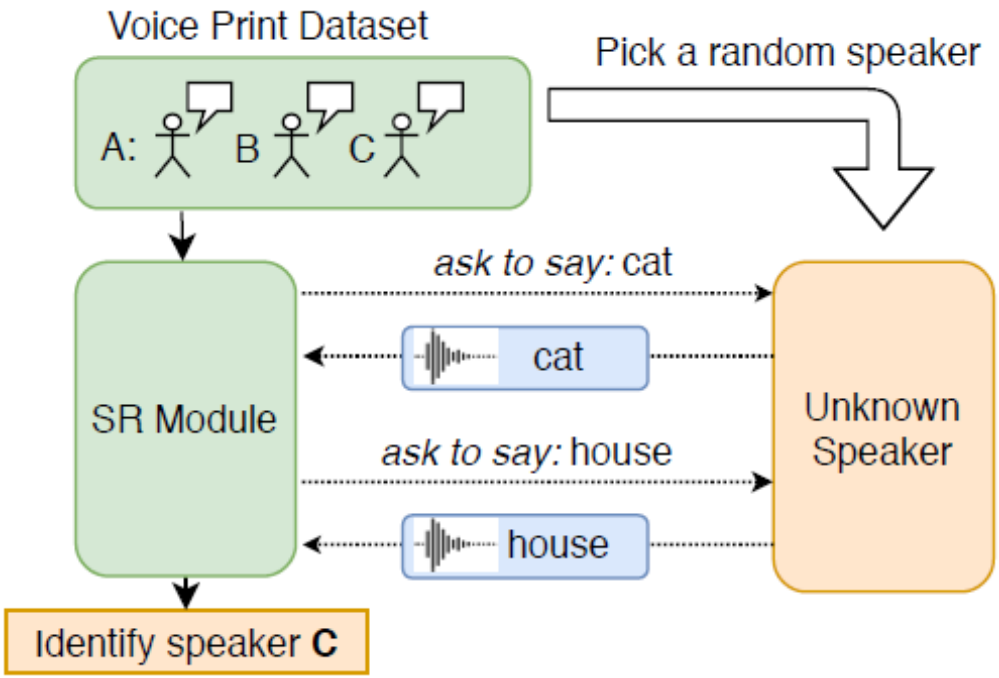
Задачи:

- Воспроизведение результатов, достигнутых в исходной статье.
- Улучшение и модификация изначальной системы:
  - Переход от идентификации к верификации.
  - Использование произвольного набора запрашиваемых слов.
  - Проверка работы при добавлении шума.
  - Использование других эмбеддингов.

Interactive Speaker Recognition

Здесь и далее изображения из *A Machine of Few Words — Interactive Speaker Recognition with Reinforcement Learning*, Mathieu Seurin et al., INTERSPEECH 2020, arXiv:2008.03127v1.

Использовался датасет TIMIT.

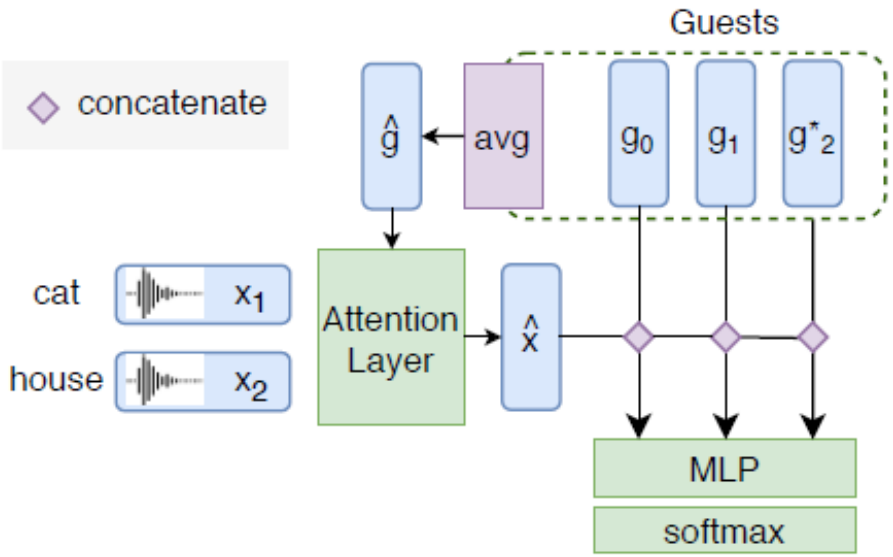


Важные особенности статьи:

1. только идентификация
2. фиксированный набор слов
3. разные нейронные сети для запроса слов (`Enquirer`) и идентификации (`Guesser`)

Архитектура Guesser

Пытаемся угадать диктора



Входные данные:

- эмбеддинги дикторов $G = [g_1; g_2; \dots g_K]$
- эмбеддинги слов $X = [x_1; x_2; \dots x_T]$

Выходные данные:

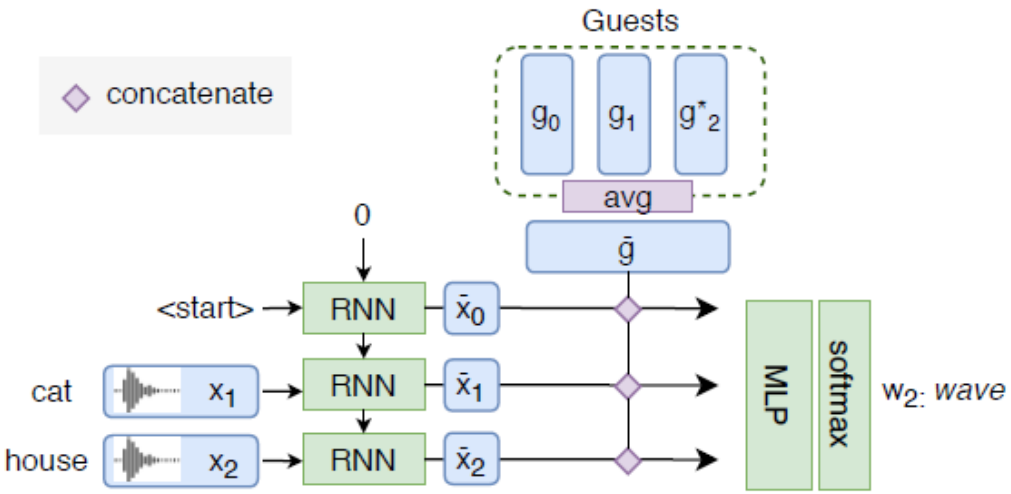
- вероятности $\{P(g_i = g^*) \mid i = 1..K\}$

Обозначения

K	количество гостей / дикторов
T	количество запрашиваемых слов

Архитектура Enquirer

Выбираем, какое слово мы спрашиваем у диктора



Входные данные:

- среднее эмб. дикторов $\hat{g} = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} g_k$
- эмбеддинги слов $X = [x_1; x_2; \ldots; x_t]$

Выходные данные:

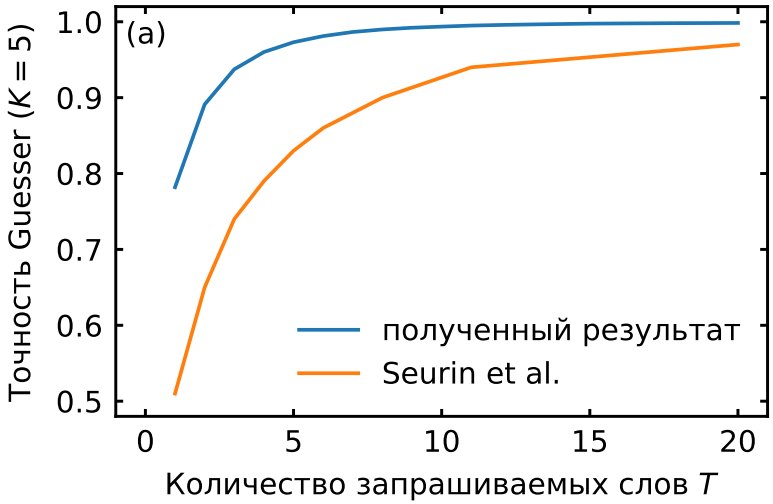
- вероятность выбрать каждое из слов

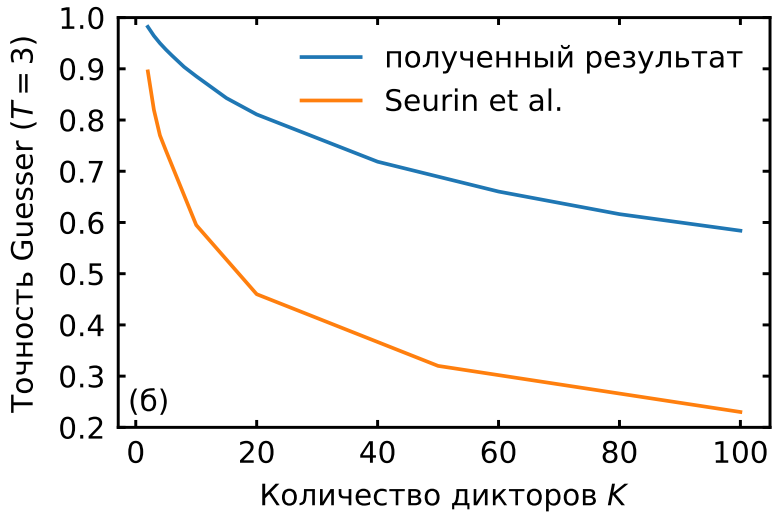
Обозначения

K	количество гостей / дикторов
T	количество запрашиваемых слов
t	количество запрошенных слов, $0 \leq t \leq T$

Обучение и тестирование Guesser

$K = 5$ дикторов и $T = 3$ слова при обучении

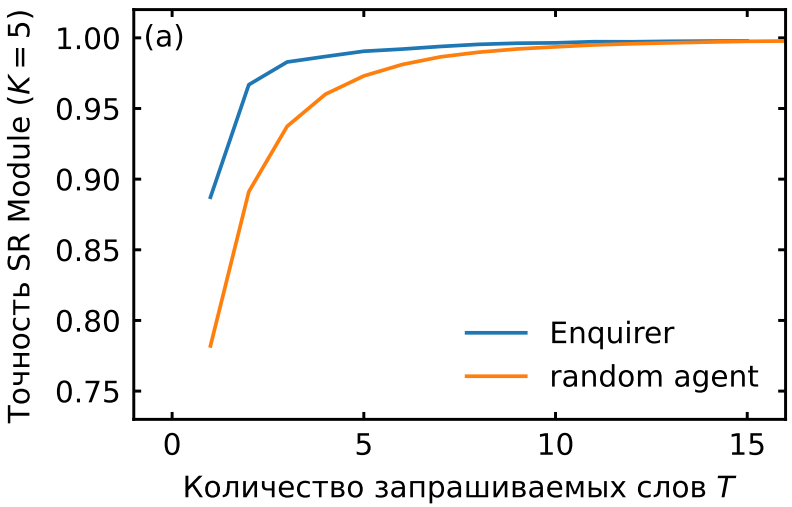


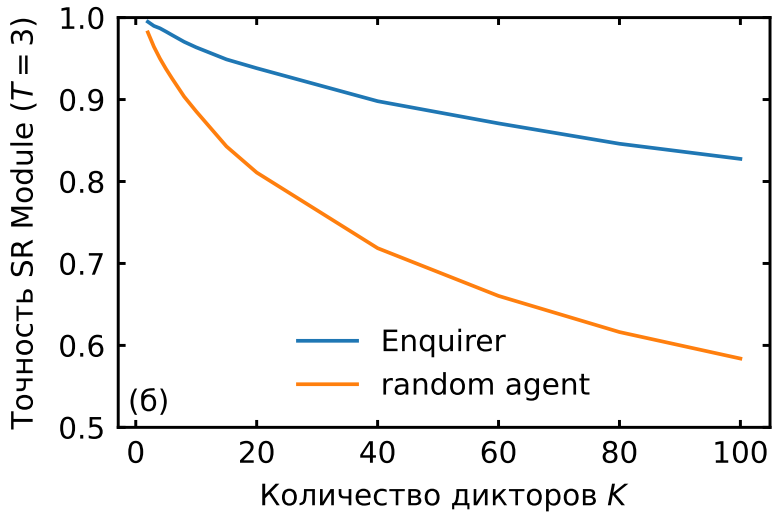


Вероятно, главная причина расхождения результатов — увеличение размерности эмбеддингов (512 вместо 128 в статье). Неизвестно, как и зачем в статье производилось понижение размерности.

Обучение и тестирование Enquirer

$K = 5$ дикторов и $T = 3$ слова при обучении



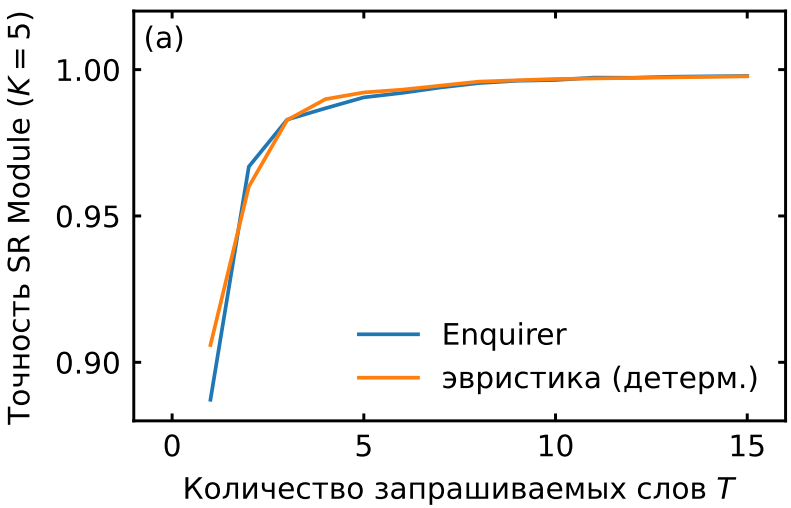


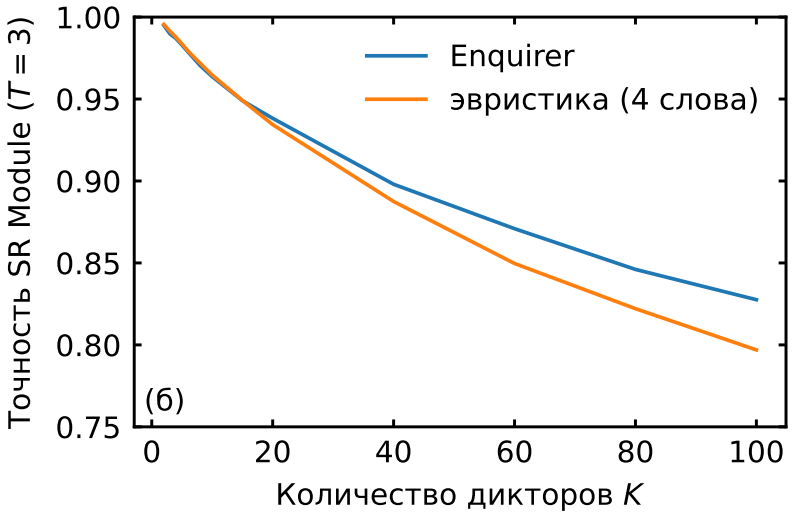
Для обучения использовалась **PPO**. Выбор слова при обучении и тестировании проводился по-разному:

- `train` — сэмплирование из распределения,
- `test` — arg max по не использованным ранее словам.

Обучение и тестирование Enquirer

$K = 5$ дикторов и $T = 3$ слова при обучении





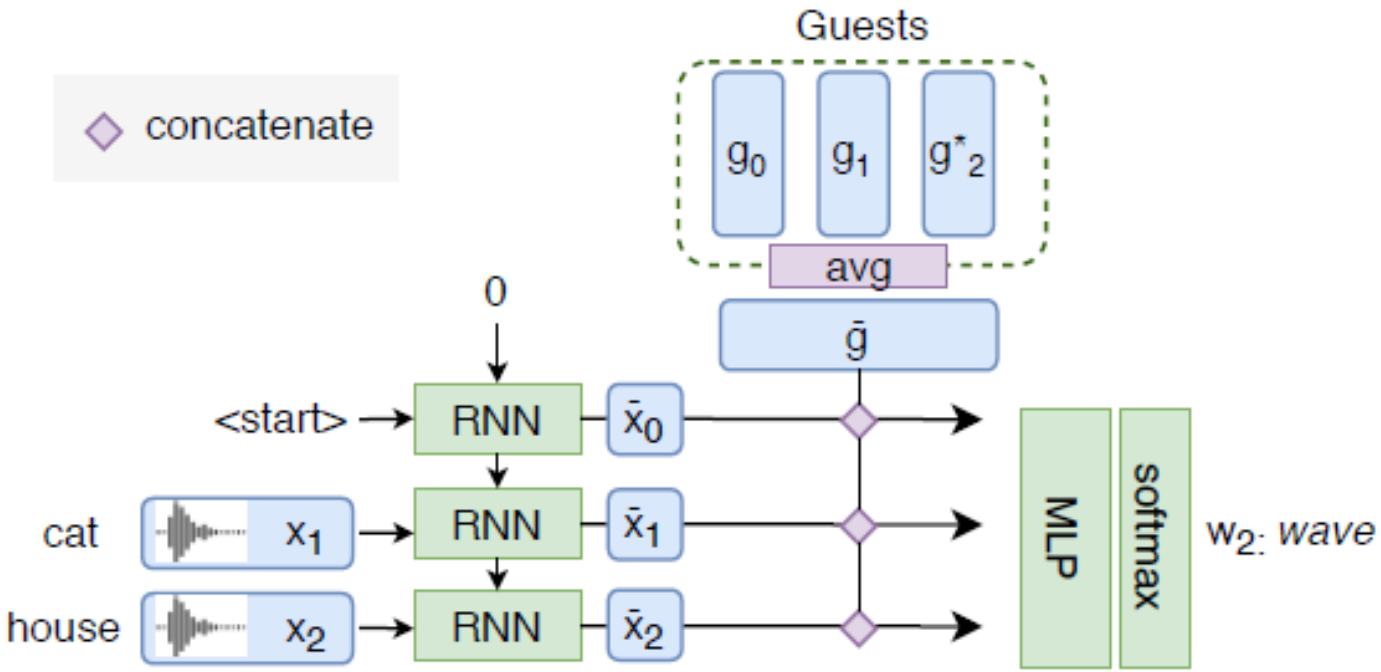
Для обучения использовалась **PPO**. Выбор слова при обучении и тестировании проводился по-разному:

- `train` — сэмплирование из распределения,
- `test` — arg max по не использованным ранее словам.

Эвристический агент не обращает внимание на контекст и (практически) всегда запрашивает одни и те же слова.

От идентификации к верификации

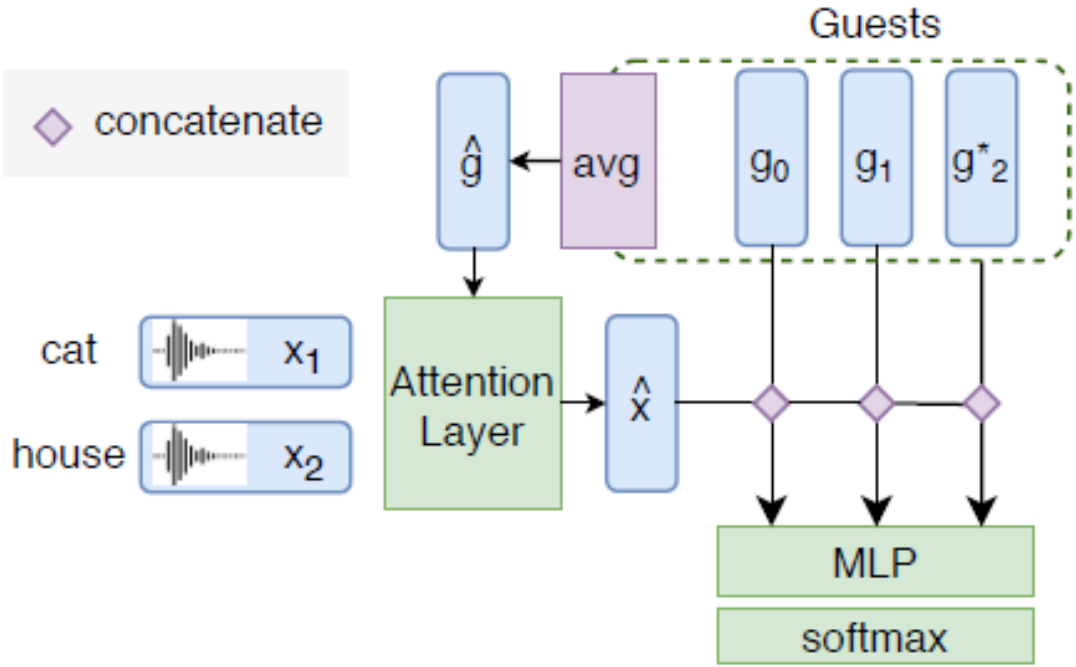
$T = 3$ слова



- `Enquirer`: не меняем ничего (даже веса)

От идентификации к верификации

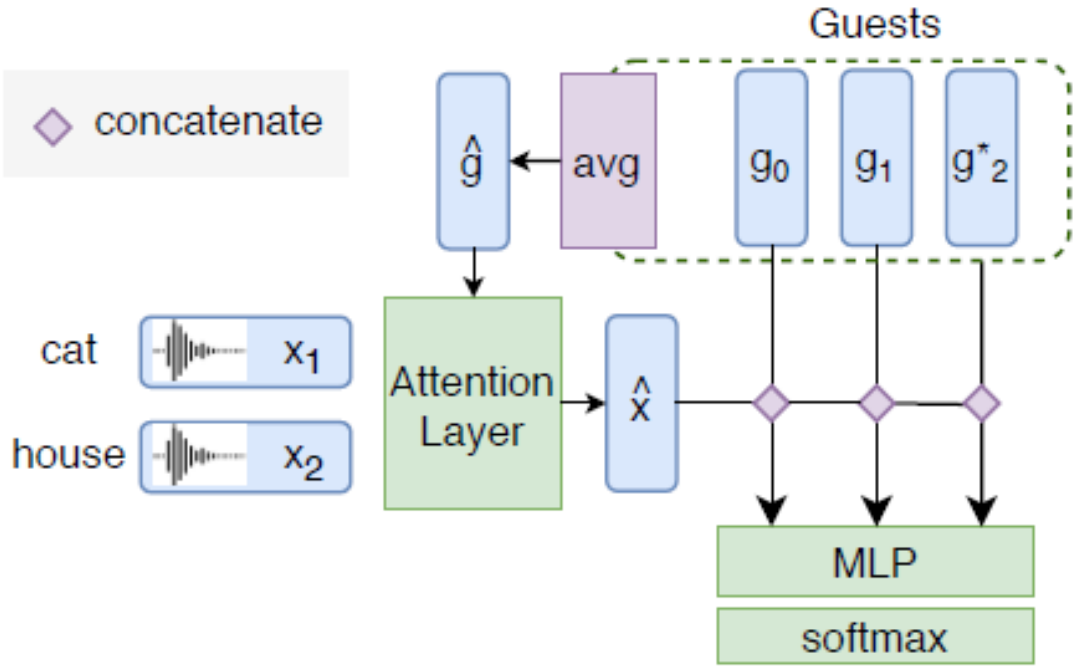
$T = 3$ слова



- `Enquirer`: не меняем ничего (даже веса)
- `Guesser`: меняем `softmax` на `sigmoid`

От идентификации к верификации

$T = 3$ слова



- `Enquirer`: не меняем ничего (даже веса)
- `Guesser`: меняем `softmax` на `sigmoid`

Выбор слов	Точность
случайный	0.895
`Enquirer`	0.933
эвристика	0.917

Обучение в более тяжелом режиме

Выбор слов	Режим обучения	Точность
случайный		0.895
`Enquirer`	$T = 3$	0.933
эвристика		0.917
случайный		0.913
`Enquirer`	$T = 2$	0.947
эвристика		0.945

Таблица: Точность верификации, $T = 3$ запрашиваемых слова

Обучение в более тяжелом режиме

Выбор слов	Режим обучения	Точность
случайный	$K = 5$ $T = 3$	0.937
`Enquirer`		0.982
эвристика		0.984
случайный	$K = 20$ $T = 2$	0.951
`Enquirer`		0.989
эвристика		0.988

Таблица: Точность идентификации, $K = 5$ дикторов, $T = 3$ запрашиваемых слова

Другие эксперименты

1. `CodebookEnquirer` — гибкая система выбора слов.
   - Меняем последний слой `Enquirer`: теперь он выдает не вероятности выбрать то или иное слово из словаря, а эмбеддинг.
   - Создаем `Codebook` — набор эмбеддингов слов (усредняем по обучающей выборке).
   - Для получения вероятностей считаем `softmax` с отрицательной температурой от расстояний между выходным эмбеддингом и эмбеддингами слов в `Codebook`.
   - Работает (небольшое падение точности), даже если мы обучаем и тестируем модель на разных наборах слов.
2. Добавление шума
   - Добавляем к аудиозаписям слов 6 видов шума из MUSAN.
   - Не меняем тип шума в течение игры.
   - Не помогает `Enquirer` опережать эвристику.

Выводы

- Исследованный подход работает — точность идентификации существенно повышается при добавлении выбирающего слова агента.
- Модель можно сделать практически полезной: легко перейти от идентификации к верификации и от фиксированного набора слов к произвольному.
- В большинстве режимов (очень) простая эвристика оказывается не хуже нейросетевого агента для выбора слов (`Enquirer`).