

93-140



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P10-93-140

Ю.А.Будагов, В.В.Пальчик, Н.О.Порошин*,
В.М.Северьянов, В.Н.Шигаев

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОГОВЫХ
И НЕЙРОСЕТЕВОГО ТРИГГЕРОВ
ОТБОРА СОБЫТИЙ С b -КВАРКАМИ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ
ДЛЯ ПЕРЕДНЕГО КАЛОРИМЕТРА УСТАНОВКИ
«МНОГОЧАСТИЧНЫЙ СПЕКТРОМЕТР»
НА ПУЧКЕ УНК С ЭНЕРГИЕЙ 3 ТэВ

*Московский инженерно-физический институт

1993

1 Введение

Система калориметров экспериментальной установки "Многочастичный спектрометр" (МЧС) [1], [2] (схема установки МЧС приведена в работах [2], [3]) предназначена для реконструкции γ -квантов и идентификации электронов, а также для измерения таких глобальных характеристик события, как суммарное энерговыделение и поперечная энергия. Составной частью установки являются электромагнитные и адронные калориметры, которые объединяются в пары (ЭК1, АК1) и (ЭК2, АК2), называемые соответственно вершинным и передним калориметрами. Калориметры имеют ячеистую структуру. В настоящей работе использовалась модельная информация только для переднего калориметра (ЭК2 и АК2).

При проведении исследований частиц с тяжелыми s - и b -кварками на пучках адронов с энергией до 3 ТэВ ускорительно-накопительного комплекса ИФВЭ основная проблема состоит в сложных фоновых условиях: $\sigma_b/\sigma_{in} \approx 3 \cdot 10^{-5}$. Один из путей решения проблемы – создание триггера, эффективно отсеивающего фоновые события.

Данная работа содержит сравнительные исследования характеристик как традиционных пороговых триггеров, так и их модификаций, а также вариантов нейросетевого триггера для отбора событий, связанных с рождением B -мезонов. В определенном смысле данная работа является продолжением и развитием работы [3].

Основными характеристиками триггера являются:

- эффективность распознавания B -событий ϵ_B ;
- эффективность регистрации фона; обычно используют коэффициент подавления фона, обратный величине эффективности регистрации фона;
- коэффициент обогащения Q , который по определению указывает, во сколько раз меняется отношение числа B -событий к числу фоновых событий после прохождения смешанного потока событий через триггер.

Наиболее наглядна и информативна зависимость коэффициента Q от эффективности распознавания B -событий ϵ_B . Эту зависимость мы будем называть операционной характеристикой триггера, цюна в определенном смысле является универсальной, позволяя легко сравнивать различные триггеры.

В настоящее время разработка нейросетевых триггеров представляется перспективным направлением, о чем свидетельствует бурный рост числа публикаций по этой тематике (см., например, [4], [5], [6], [7]).

Следует отметить, что результаты получены нами на основе модельных данных и относятся к определенной энергии первичного пучка (3 ТэВ) и к определенной геометрии и параметрам установки МЧС с фиксированной мишенью. Поперечные размеры калориметров этой установки составляют 370×250 см для электромагнитных и 390×270 см для адронных калориметров. Модельные данные генерировались для калориметра, представляющего собой квадрат размером 200×200 см, разделенный на 100×100 ячеек со сторонами 2×2 см каждая. Стороны квадрата ориентированы по осям X, Y , поле магнитов установки МЧС направлено параллельно оси Y . Каждая из ячеек калориметра задана двумя координатами i_x, i_y ($i_x, i_y = 1, \dots, 100$), которые мы будем отождествлять с центром ячейки. Единица отсчета координат равна 2 см, а координаты (X_c, Y_c) входа первичного пучка в плоскость калориметра (координаты центра калориметра) равны (50,5, 50,5).

Для каждой из ячеек калориметра на этапе моделирования вычислялась суммарная энергия частиц события, попавших в эту ячейку. Файлы модельных данных содержат информацию об отклике калориметра на каждое из 1000 событий с реакциями типа $p + p \rightarrow X$, которые мы будем именовать фоновыми событиями, и на каждое из 500 событий с реакциями типа $p + p \rightarrow B + X$, которые мы будем именовать B -событиями. В данной работе использовались те же файлы, что и в работе [3].

Моделирование прохождения частиц через установку осуществлялось следующим образом. По программе генерации событий RYTHIA 5.3 [8] моделировались реакции типа $p + p \rightarrow X$ и $p + p \rightarrow B + X$ для налетающего протона с импульсом 3000 ГэВ/с. При этом использовался стандартный набор параметров программы RYTHIA. Для реакций первого типа (фон) было сгенерировано 1000 событий, а для реакций второго типа (с рождением B -мезонов) – 500 событий. Прохождение частиц, образовавшихся в результате вышеуказанных реакций, через экспериментальную установку моделировалось с помощью программы GEANT 3.14 [9]. Учитывались следующие процессы взаимодействия частиц с веществом: многократное кулоновское рассеяние (теория Мольера), конверсия γ -квантов ($\gamma \rightarrow e^+e^-$), комптон-эффект, тормозное излучение, e^+e^- -аннигиляция, hA -взаимодействия. Для мо-

делирования процессов hA -взаимодействия использовалась программа GHEISHA [10]. Для моделирования распадов B -мезонов также использовался пакет программ JETSET [11], при этом никакие моды распадов специально не выделялись и не отбрасывались. Трассировка частиц через спектрометр проводилась до тех пор, пока их кинетическая энергия не становилась меньше некоторого заданного порогового значения: 100 МэВ для e^+ , e^- , γ и 50 МэВ – для остальных частиц.

Для отработки нейросетевого триггера мы воспользовались одной из двух нейросетевых моделей, реализованных в популярном в настоящее время пакете подпрограмм JETNET 2.0 [12], а именно многослойной прямоочной нейронной сетью с обучением по методу обратного распространения ошибок.

Построение гистограмм и визуализация результатов осуществлялись с помощью библиотек CERNLIB и системы PAW, адаптированных на персональном компьютере типа IBM PC/AT [13], [14].

Исследованные модели триггеров для удобства изложения мы подразделили на пороговые триггеры (по множественности, координатные, энергетические), комбинированные и нейросетевые триггеры.

2 Пороговые триггеры

Триггер по множественности. Входной параметр – число N ячеек калориметра, в которых при регистрации события выделилась энергия, отличная от 0. В модельных данных учитывались частицы с энергией от 3 ТэВ до 100 МэВ (e^+ , e^- , γ) и до 50 МэВ (остальные частицы). В силу конечного энергетического разрешения калориметра, равного $\Delta E/E = 0,8/\sqrt{E}$ (здесь E – в единицах ГэВ), мы при исследовании характеристик триггеров получали оценки как для полного файла данных, так и с обрезанием данных по энергетическому порогу 3 ГэВ.

На рис. 1 представлены гистограммы распределения фоновых и B -событий по множественности N , а на рис. 2 – операционные характеристики триггера по множественности как для полного файла данных, так и для редуцированного по энергетическому порогу. При эффективности отбора B -событий, например 0,8, данный триггер для редуцированного файла подавляет фон в 4,4 раза, что соответствует коэффициенту обогащения $Q(0,8) = 3,5$.

Невысокий коэффициент обогащения, даваемый триггером по множественности, легко объясним при рассмотрении двумерных распре-

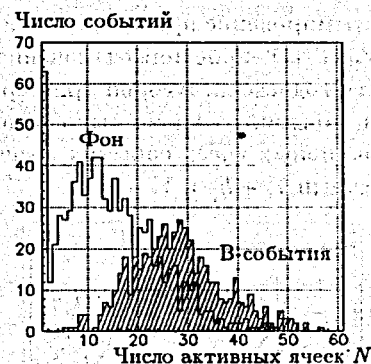


Рис. 1. Распределение фоновых и B -событий по множественности

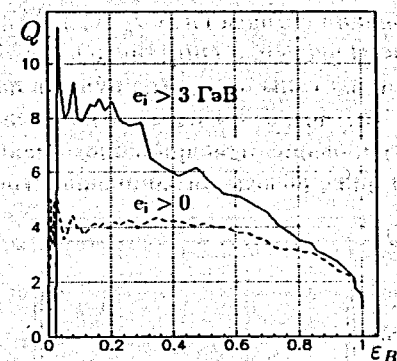


Рис. 2. Операционные характеристики триггера по множественности

делений фоновых и B -событий. Анализ этих распределений (см. [15]) показывает, что с ростом суммарного поперечного импульса быстро нарастает перекрытие кластеров фоновых и B -событий, а множественность события теряет свойство разделяющей функции.

Вторым моментом, приводящим к снижению эффективности триггера по множественности, служит то обстоятельство, что при использовании калориметра в качестве регистратора частиц происходит частичная потеря информации об их числе из-за интегрирующей функции ячеек калориметра, дающих нам только величину суммарной энергии всех частиц, попадающих в ячейку калориметра. Потеря информации о множественности особенно велика в центральной зоне калориметра, где плотность распределения частиц максимальна.

Полученную операционную характеристику следует рассматривать как ориентировочную. Она должна быть уточнена с помощью других, более полных модельных данных, поскольку в нашем случае не моделировался процесс развития электромагнитных и адронных ливней в калориметре.

Триггеры координатного типа. К этой группе триггеров мы относим те, в которых используется только координатная информация и не используется информация об энергии частиц.

В годоскопическом варианте ранее были предложены два триггера этого типа [18], [19]. Первый триггер (S_y) работает на пороговом сра-

внешии сигнала вида $S_y = \sum_i |\Delta Y_i|$, где суммирование производится по всем частицам события, а $|\Delta Y_i| = |Y_i - Y_c|$ есть Y -проекция отклонения i -й частицы от центра пучка в плоскости годоскопа. Второй триггер, $YH2$, вырабатывает сигнал режекции события, если не выполнено требование одновременного наличия активных ячеек события выше и ниже полосы, ограниченной координатами $Y_c + h_y$ и $Y_c - h_y$.

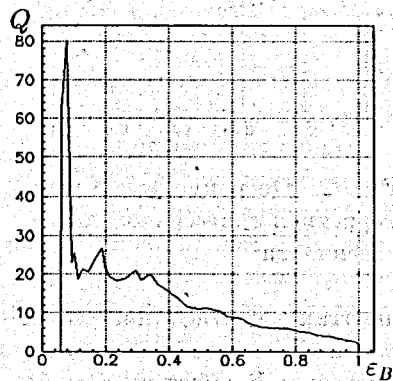


Рис. 3. Операционная характеристика триггера S_y

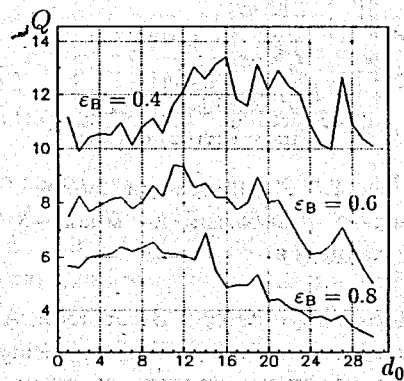


Рис. 4. Зависимость коэффициента обогащения триггера по E_{ty} от полуширины вырезаемой центральной полосы d_0

На рис. 3 показана операционная характеристика триггера для редуцированного файла данных по сигналу S_y . Для порогового триггера S_y сохраняют силу замечания, сделанные при обсуждении триггера по множественности.

Второй триггер ($YH2$) для получения хорошей операционной характеристики требует большего акцептанса, чем это имеет место для переднего калориметра в геометрии МЧС. Тем не менее в целях сравнительного исследования в работе [15] оценен эффект, который может дать триггер $YH2$ при использовании переднего калориметра МЧС в качестве регистратора частиц.

Группа энергетических триггеров. Сюда мы включаем пороговые триггеры, в которых сигнал формируется с использованием динамических переменных (импульс/энергия). Рассмотрим ряд триггеров этой группы.

Операционные характеристики калориметрического триггера на ос-

нове поперечной энергии события рассматривались в работе [17], а в работе [3] — на основе средней поперечной энергии $\bar{E}_t = E_t/N$, где N — число активных ячеек калориметра для данного события. Эти две работы выполнены также на основе модельных данных и при той же энергии первичного пучка 3 ТэВ, что облегчает сравнение результатов.

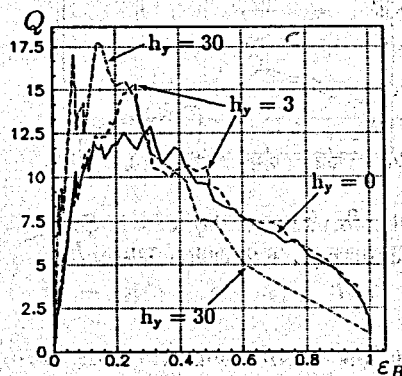


Рис. 5. Операционные характеристики триггера типа E_{ty} ($|Y_c - Y_c| > h_y$)

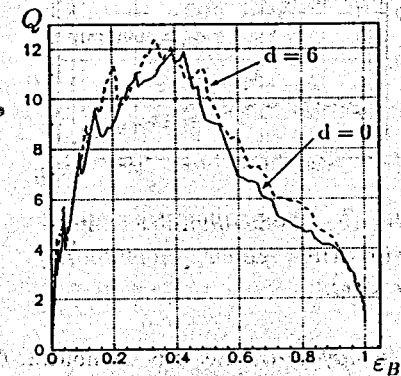


Рис. 6. Операционные характеристики триггера типа E_{tr} ($r > d$)

На рисунках 6, 8 сплошной линией представлена операционная характеристика порогового триггера по полной радиальной поперечной энергии события $E_{tr} = \sum_k e_k r_k$, где r_k — расстояние от пучка до центра k -й ячейки калориметра, а суммирование производится по всем k , для которых $e_k > 3$ ГэВ. Пороговое обрезание по энергии мы применяли при получении всех последующих результатов. Триггер по средней поперечной энергии уступает классическому варианту E_{tr} , особенно в диапазоне эффективности ϵ_B от 0,2 до 0,4.

Заметим, что использование только Y -компоненты поперечной энергии события может улучшить операционную характеристику триггера (рисунки 5, 7, сплошная линия) в диапазоне малых эффективностей, так как, в отличие от Y -составляющей, которая сохраняет первичную информацию об углах вылета заряженных частиц, X -составляющая претерпевает изменение за счет магнитного поля установки МЧС, и величина изменения зависит от заряда и импульса частиц в событии. Такое перемешивание частиц по X -координате в плоскости калориметра увеличивает дисперсию распределения и снижает

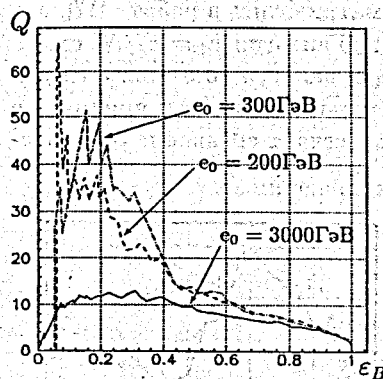


Рис. 7. Операционные характеристики триггера типа E_{ty} ($e < e_0$)

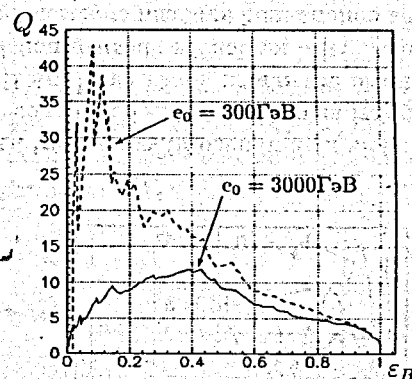


Рис. 8. Операционные характеристики триггера типа E_{tr} ($e < e_0$)

его крутизну как для фоновых, так и для В-событий. Поэтому авторы работы [17] за основной вариант взяли пороговый триггер по $E_{ty} = \sum_k e_k |Y_k - Y_c|$. На основании построенных распределений продуктов распада В-мезонов в плоскости калориметра ими была сформулирована рекомендация ограничить суммирование теми членами, для которых выполнено неравенство для быстрых:

$$3,2 < \eta_k < 5,2,$$

где в наших условиях

$$\eta_k \approx -\ln \left(\frac{|Y_k - Y_c|}{2Z_0} \right).$$

Здесь Z_0 – расстояние от фиксированной мишени до плоскости калориметра. В геометрии МЧС $\eta = 3,2$ соответствует $|Y - Y_c| = 250$ см (у модели калориметра $|Y - Y_c|_{max} = 100$ см). Ограничение на η справа соответствует отверстию в центральной части калориметра величиной $|Y - Y_c|_{max} \leq 34$ см.

Авторы [17] приводят кривые эффективности и режекции фона для триггера E_{ty} с симметрично вырезанной полосой. Для наших условий ($Z_0 = 31$ м) рекомендованная авторами [17] ширина полосы равна 100 см по оси Y (для $Z_0 = 31$ м). Вычисленная нами по этим кривым операционная характеристика представлена линией 2 на рис. 15. Поскольку, по утверждению авторов работы [17], геометрия

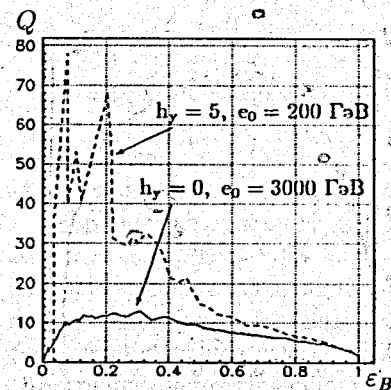


Рис. 9. Операционные характеристики триггера типа E_{ty} ($|Y - Y_c| > h_y, e < e_0$)

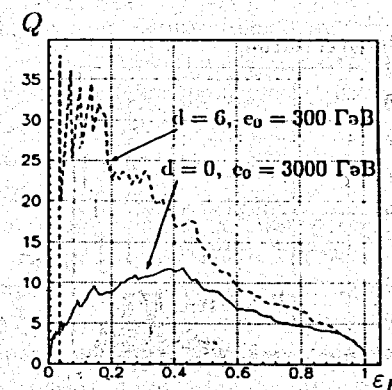
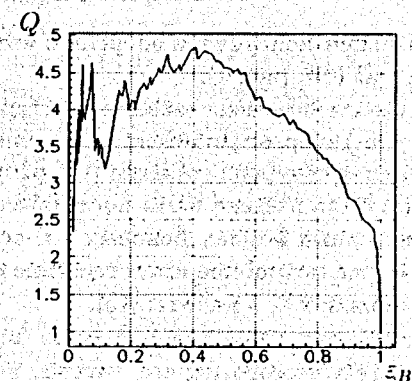


Рис. 10. Операционные характеристики триггера типа E_{tr} ($r > d, e < e_0$)

Рис. 11. Операционная характеристика триггера типа E_{c44}



калориметра оказывается субоптимальной, нами осуществлен поиск оптимального размера полосы $|Y - Y_c| \leq d_0$, дающей наивысший коэффициент обогащения Q при трех значениях эффективности триггера $\epsilon_B = 0,4, 0,6$ и $0,8$. Результаты приведены на рис. 4, где $Q(0,4)$, $Q(0,6)$ и $Q(0,8)$ представлены графически как функции d_0 . Из рис. 4 видно, например, что при $\epsilon_B = 0,8$ значения коэффициента обогащения $Q > 6$ достигаются в интервале значений $d_0 = 5 \div 14$.

Триггер по Y -составляющей поперечной энергии с вырезанием центральной полосы $|Y - Y_c| \leq h_y$ будем обозначать E_{ty} ($|Y - Y_c| > h_y$) (см. рис. 5). Аналогично определяется модифицированный триггер по ра-

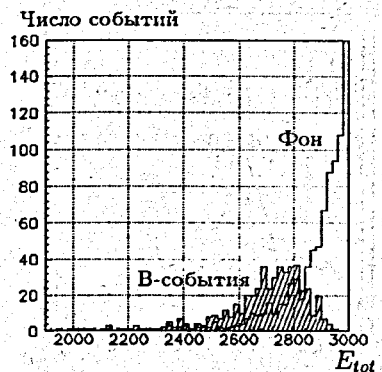


Рис. 12. Распределение фоновых и В-событий по полной энергии E_{tot}

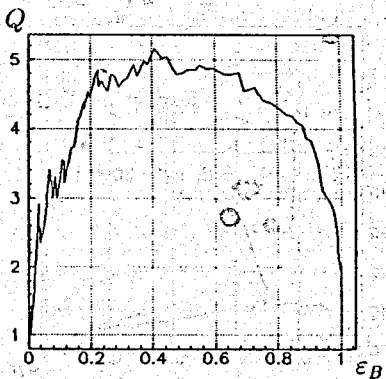


Рис. 13. Операционная характеристика триггера по полной энергии E_{tot}

диальной поперечной энергии с центральным отверстием $r \leq d$: E_{tr} ($r > d$) (см. рис. 6).

Следующая модификация триггера E_t включает пороговый контроль ($e < e_0$) энергии, выделенной в ячейках калориметра, при подсчете поперечной энергии события (см. рисунки 7, 8). Эта модификация триггера была введена нами после более детального исследования данных в исходных файлах фоновых и В-событий.

Более подробное представление о модельных данных можно найти в таблицах 2, 3 работы [15].

Согласно физической теории адронных процессов при снижении энергетического порога частиц, включаемых в подсчет поперечной энергии события, растет крутизна кривой распределения поперечной энергии и повышается эффективность триггера. Это обстоятельство стимулировало более детальный анализ эффектов варьирования порога для высокоэнергетичных частиц и его влияния на роль поперечной энергии в качестве решающей функции.

Выключение центральных ячеек калориметра из подсчета поперечной энергии события (условия $|Y_k - Y_c| > h_y$, $r_k > d$) исключает вклад частиц высокой энергии, которые концентрируются в центральной окрестности калориметра и чей поперечный момент оценивается с большой относительной ошибкой, так как точные координаты входа частицы в калориметр заменяются координатами центра ячейки.

Совместное выполнение двух условий: $|Y_k - Y_c| > h_y$ и $e_k \leq e_0$, где

$e_0 \approx 200 - 300$ ГэВ, исключает вклад высокоэнергетичных частиц с большим отклонением от центра калориметра, которые отсутствуют в файле В-событий. Данных частиц мало и в файле фоновых событий, тем не менее их исключение существенно повышает коэффициент режекции фоновых событий R_s в диапазоне умеренно низких значений эффективности триггера ($0,2 < \epsilon_B < 0,4$).

Операционные характеристики модифицированных триггеров такого типа, E_{ty} ($|Y - Y_c| > h_y$, $e < e_0$), E_{tr} ($r > d$, $e < e_0$), представлены на рисунках 9, 10. Очевидно, операционные характеристики модифицированных триггеров демонстрируют существенный прирост коэффициента обогащения Q во всем диапазоне эффективностей триггера.

К группе энергетических пороговых триггеров мы относим и триггеры, вычисляющие полную или частичную сумму энергий, выделенных в ячейках калориметра.

Триггер по частичной сумме E_{c44} в центральной зоне калориметра. Исследования, проведенные с зонами разных форм и размеров, привели к выбору зоны в виде квадрата 8×8 см (4×4 ячейки). Операционная характеристика этого триггера (E_{c44}) приведена на рис. 11. Триггер E_{c44} при эффективности 0,99 подавляет фон в 2 раза. Очевидно, в силу простоты этот пороговый триггер может быть реализован на аналоговых схемах и обладает малым временем формирования сигнала реакции.

Триггер по полной энергии E_{tot} . Распределение событий по значению полной энергии E_{tot} , выделенной в калориметре, приведено на рис. 12, а операционная характеристика этого триггера — на рис. 13. При эффективности триггера 0,96 коэффициент режекции фоновых событий достигает 3.

3. Комбинированные триггеры

Схема комбинированного триггера в простейшем случае может строиться по схеме последовательного срабатывания простых пороговых триггеров в порядке, задаваемом временем τ , затрачиваемым на формирование триггерных сигналов. Детальное исследование комбинированных триггеров в данной работе не проводилось.

4. Нейросетевой триггер

Функция нейросетевого триггера, как и обычных триггеров, состоит в выработке выходного логического сигнала после подачи на входы триггера определенных сигналов анализируемого события. Конкретное значение выходного сигнала запускает последовательность дальнейших операций в системе накопления и анализа данных эксперимента: либо передачу события на следующий уровень анализа, либо вычеркивание текущего события из всех очередей. Один из рассмотренных нами вариантов калориметрического нейросетевого триггера представлен на рис. 14.

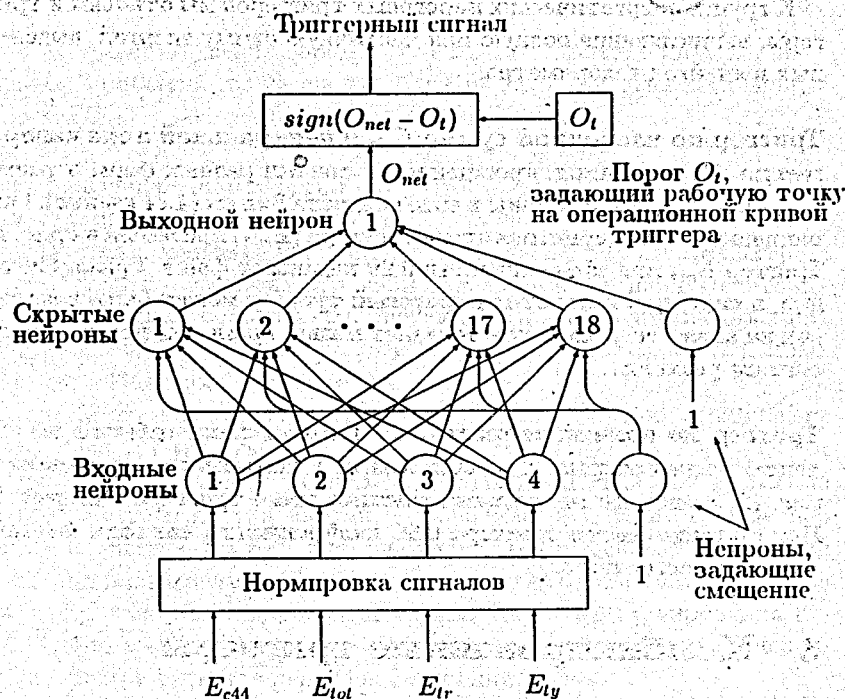


Рис. 14. Схема нейросетевого триггера

Прежде чем нейронная сеть сможет действовать как триггер, она должна быть обучена распознавать и классифицировать события двух классов: фоновые и с рождением В-мезонов. Чтобы проверить способ-

ность сети к обобщению, т.е. к распознаванию событий, которые не предъявлялись ей при обучении, но принадлежат, тем не менее, к тем же классам событий, которые сеть обучалась распознавать, мы разбили смесь из имеющихся у нас 1500 фоновых и В-событий на две равные части: одна половина использовалась для тренировки нейронной сети (обучающая выборка), другая – для тестирования способности сети действовать в качестве триггера (контрольная выборка).

Для каждого из 1000 фоновых и 500 В-событий подсчитывались 20 параметров. Из этих данных готовилась входная смесь (выборка) для нейронной сети. Написанная нами программа работы с нейронной сетью позволяет подавать на вход сети любую комбинацию параметров, выбираемых из 20 заготовленных в соответствии с предварительно заданной маской. Нейронная сеть имеет столько входных нейронов, сколько на нее подается параметров.

С целью выбора наилучшего варианта для нейросетевого триггера нами испытывались различные комбинации входных параметров и варьировались характеристики нейронной сети:

- число слоев скрытых нейронов;
- число нейронов в скрытом слое;
- "температура" T ;
- способ корректировки весов (обычный или с добавлением шума – корректировка Ланжевена);
- скорость обучения η ;
- диапазон значений выходного нейрона ($[0,1]$ или $[-1,1]$).

Следует подчеркнуть, что существенного, заметного эффекта большинство этих модификаций не дает. Поэтому в большинстве экспериментов с нейронной сетью мы ограничились трехслойной нейронной сетью, в скрытом слое которой было $10 + 2 \cdot i$ нейронов, где i – число входов. Выходной слой содержал 1 нейрон. В качестве передаточной функции нейронов использовалась сигмоидная функция

$$g(x/T) = \tanh(x/T), \quad g: R \rightarrow [-1,1],$$

где T – "температура", R – множество вещественных чисел. Варьируя при оптимизации параметров "температуру" от 0,5 до 2,0, мы остановились на величине $T = 1$.

Обучение проводилось эпохами и циклами: каждая из n эпох состояла из заданного числа m циклов тренинга и одного цикла тестирования работы нейронной сети в качестве классификатора. От эпохи к эпохе осуществлялось постепенное уменьшение параметра скорости обучения η сети: от 0,01 для первой эпохи до 0,005 – 0,001 для последней эпохи. Проводились сеансы обучения, которые включали до 20 эпох по 10 – 20 циклов. Оптимальной оказалась комбинация из 4 эпох по 10 циклов в каждой. Числа n , эпох и m циклов тренинга могли задаваться произвольно.

При подборе параметров нейронной сети мы опирались на рекомендации авторов пакета JETNET из работы [16]. Все остальные характеристики сети имели значения, установленные по умолчанию в пакете JETNET 2.0.

Для построения операционной характеристики триггера на сеть подавались параметры фоновых и В-событий из контрольной выборки. Значения O_{net} выходного нейрона запоминались в файлах. По этим данным путем последовательного сдвига точки разделения O_i (от -1 до 1) подсчитывались:

- вероятности распознавания В-событий;
- вероятности ошибочной классификации фоновых событий (ошибка 2-го рода в распознавании);
- соответствующие им значения коэффициента обогащения Q .

Для удобства работы с нейронной сетью и систематизации получаемых результатов последние запоминались в файле паспорта каждого сеанса работы с нейронной сетью.

В число возможных параметров нейросетевого триггера были включены:

- полная энергия E_{tot} , выделенная вторичными частицами в калориметре;
- энергия E_{c44} , выделенная в центральных 4×4 ячейках калориметра;
- радиальная поперечная энергия E_{tr} – как полная, так и различные ее модификации;
- Y -компонента E_{ty} поперечной энергии – как полная, так и вычисленная при различных условиях;

- наибольшая по абсолютной величине в событии Y -координата активной ячейки i с $e_i > 5$ ГэВ.

На вход сети параметры подавались отнормированными по обучающей выборке в интервале $[0,1]$. Как показано в [20], это приводит к некоторому улучшению результатов на выходе сети.

Эксперименты с нейронной сетью показали, что в качестве оптимального набора входных параметров нейросетевого калориметрического триггера можно использовать 4 параметра: полную энергию события E_{tot} , энергию, выделенную в центре калориметра E_{c44} , поперечную радиальную энергию E_{tr} , а также не зависящую от магнитного поля Y -компоненту модифицированной поперечной энергии, при вычислении которой используются лишь те ячейки калориметра, для которых одновременно выполняются два условия: $e_i < 200$ ГэВ и $|Y_i - Y_c| > 10$ см.

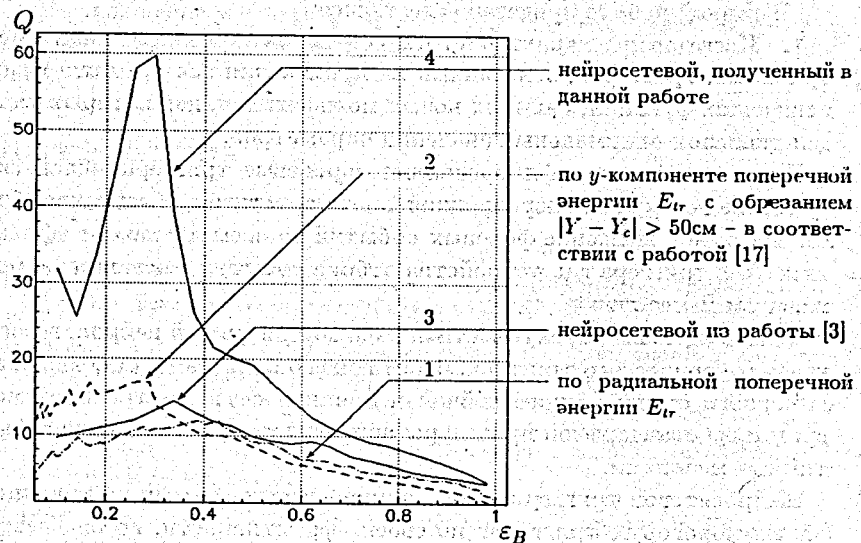


Рис. 15. Операционные характеристики различных триггеров

На рис. 15 представлена операционная характеристика нейросетевого триггера с оптимальными параметрами на входе (линия 4). Как видно из рисунка, при этом удается достигнуть коэффициента обогащения В-событий $Q = 8 \div 10$ при эффективности 0,7 – 0,8, то есть 10 – 15-кратного подавления фона с потерей при этом лишь небольшой части (20 – 30%) В-событий.

На этом же рисунке приведены операционные характеристики триггера по E_{tr} (линия 1) и нейросетевого триггера из работы [3] (линия 3), где в качестве входных в нейронную сеть подавались параметры полной энергии и три величины, усредненные по числу активных ячеек: энергия, поперечная энергия и расстояние от оси первичного пучка. Кроме того, на рисунке представлена операционная характеристика для триггера E_{tr} ($|Y_i - Y_c| > 50$ см), предложенного в ЛИЯФ [17] (линия 2). Отметим, что все эти три кривые дают в интересующей нас области, где ϵ_B равно 0,7 - 0,8, значение коэффициента обогащения $Q = 6 \div 4$, что приблизительно в два раза уступает результатам, полученным в данной работе.

5 Заключение

В данной работе проделано следующее:

1. Исследованы характеристики семейства пороговых калориметрических триггеров, основанных на применении как традиционных решающих функций, так и их новых модификаций, для которых найден диапазон оптимальных значений параметров.

Показано, что модифицированные пороговые триггеры обладают существенно лучшей операционной характеристикой, обеспечивая более высокое подавление фоновых событий во всем диапазоне эффективности триггера как устройства отбора событий, связанных с рождением В-мезонов.

2. Исследованы характеристики ряда конфигураций нейросетевого калориметрического триггера, работающего на пороговом сравнении выходного сигнала многослойной нейронной сети, настроенной посредством стандартной процедуры обучения на распознавание событий с В-мезонами.

Нейросетевой триггер не только превосходит каждый из традиционных пороговых триггеров по своей эффективности, но благодаря адаптивности дает возможность по ходу проведения физического эксперимента производить дообучение нейронной сети, оптимально настраивать триггер на реальные фоновые условия проведения эксперимента.

3. В рамках использованных нами моделей калориметра и входных данных выполнены требования проекта МЧС к калориметрическому триггеру [2] (при эффективности 0,7 - 0,8 подавление фоновых событий должно быть в пределах 10 - 15; наш нейросетевой триггер дает

подавление 10 - 14). Однако о достижении проектного задания на калориметрический триггер можно будет говорить лишь после того, как модельные данные будут включать в себя эффект "размазывания" энергии частиц по кластерам ячеек калориметра. В диапазоне эффективности 0,8 - 0,2 предложенный нами нейросетевой триггер обеспечивает подавление фона в 10 - 200 раз, что в 1,5 - 5 раз выше значений, полученных ранее в других работах.

В данной работе были использованы данные только для переднего калориметра. Естественно, что учет информации со всех калориметров, а также данных с других детекторов установки МЧС позволит развить нейросетевой подход к построению триггера для этой установки. Сопряженные с этим проблемы - предмет дальнейших исследований.

В заключение мы хотели бы выразить благодарность Станиславу Токару за плодотворные обсуждения нашей работы и полезные замечания.

Литература

- [1] Асмолов А.Г. и др. Многочастичный спектрометр. Препринт 88-13 ИФВЭ. Серпухов (1988).
- [2] Зайцев А.М. Статус установки "Многочастичный спектрометр" (МЧС). Материалы рабочего совещания "Физика на УНК", Серпухов (1989) с. 27.
- [3] Иванов В.В., Порошин Н.П., Северьянов В.М. Возможность применения нейронной сети для отбора событий с В-мезонами в калориметрическом триггере. Математическое моделирование, том 4, номер 8 (1992) 94-106.
- [4] Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy Physics, Oxford, 10-14 April 1989.
- [5] Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy Physics '92, Annecy, France, 21-25 September 1992 (CERN 92 - 07).
- [6] Proceedings of the Second International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence, and Expert Systems for Nuclear and High Energy Physics. La Londe les Maures, France. January 1992.
- [7] Neural Networks in Experimental High Energy Physics, INFN/AE-92/13, 3 April 1992.
- [8] Bengtsson H.-U., Sjöstrand T. PYTHIA. The Lund Monte Carlo for Hadronic Processes. Computer Physics Communications 46 (1987), 43.

- [9] Brun R. et al. GEANT Long Write-up, CERN Program Library W5013 (1989).
- [10] Fesefeldt H.C. GHEISHA, The Simulation of Hadronic Showers - Physics and Applications, PITHA 85/02, Physikalisches Institut, RWTH, Aachen, FRG (1985).
- [11] Sjöstrand T. The Lund Monte Carlo for Jet Fragmentation and e^+e^- Physics JETSET, Computer Physics Communications 39 (1986) 347 and 43 (1987) 367.
- [12] Lönnblad L., Peterson C., Rönqvaldsson T. Pattern Recognition in High Energy Physics with Artificial Neural Networks - JETNET 2.0, Computer Physics Communications 70 (1992), 167.
- [13] Ivanov V.V., Khasanov A.M., Palichik V.V. PAW/GKS Implementation on IBM PC under MS DOS, Proceedings of the Second International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence, and Expert Systems for Nuclear and High Energy Physics, La Londe les Maures, France, January 1992, 227-231.
- [14] Смирнова О.Г., Стриж Т.А., Файн В.Э. Использование системы PAW в MS DOS. ОИЯИ, P11-92-416, Дубна, 1992.
- [15] Будагов Ю.А., Пальчик В.В., Порошин Н.О., Северьянов В.М., Шигаев В.Н. Исследование характеристик пороговых и нейросетевого триггеров отбора событий с b -кварками на основе модельных данных для переднего калориметра установки "Многочастичный спектрометр". ОИЯИ, Б1-10-93-116, Дубна, 1993.
- [16] Lönnblad L., Peterson C., Rönqvaldsson T. Using Neural Networks to Identify Jets, Nuclear Physics B349 (1991), 675.
- [17] Kolomensky G.A., Obrant G.Z., Smirnov A.I. Fast Trigger Algorithm for B-events Selection, Preprint 1699 (June 1991), ЛИЯФ, Ленинград.
- [18] Морозова Э.Я., Пермякова Л.А., Тазтамышев Г.Г. Триггер на распады В-мезонов. ОИЯИ, P1-91-65, Дубна, 1991.
- [19] Boyko I.R., Takhtamyshev G.G. Trigger for Decays of B-mesons produced at 20 TeV. ОИЯИ, E1-92-414, Дубна, 1992.
- [20] Seidel F. et al. B-quark Tagging Using Neural Networks and Comparison with a Classical Method, Proceedings of the Second International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence, and Expert Systems for Nuclear and High Energy Physics, La Londe les Maures, France, January 1992, 425.